R III 1303679
К-93

КУРС АРТИЛЛЕРИИ

ВОЕНИЗДАТ НКО СССР
1941

ИЗДАНИЯ ВОЕННЫХ ЛЕТ
1941-1945

КУРС АРТИЛЛЕРИИ

★

ПОД РЕДАКЦИЕЙ
ДОКТОРА ВОЕННЫХ НАУК, ПРОФЕССОРА
ГЕНЕРАЛ-МАЙОРА АРТИЛЛЕРИИ,
Д. Е. КОЗЛОВСКОГО

СПИСОК ОПЕЧАТОК К „КУРСУ АРТИЛЛЕРИИ"

Страница	Строка	Напечатано	Следует
38	Таблица	Пикриновая кислота . . . 675 Тротил 690	Пикриновая кислота . . . 690 Тротил 685
46	Табл. 8	Стифнат свинца 375	Стифнат свинца 275
47	Табл. 9	Гремучая ртуть . . . . . верхний 2,5	Гремучая ртуть . . . . . верхний 8,5
124	12 снизу	$B \doteq \frac{s^2 I_к^2}{\omega\varphi m};$	$B = \frac{s^2 I_к^2}{f\omega\varphi m};$
214	18 снизу	при угле между нормалью и преградой в 30°.	при угле от нормали к преграде в 30°.
332	11 сверху	для того же из уравнения (143):	для того же момента из уравнения (143):
356		$a = \frac{\sqrt{\frac{k\gamma}{20g}\left(A_т - \mathfrak{A}\right)^{3/2}}}{\sqrt{\frac{\Phi}{V^2}}}$ (*см²*).	$a = \frac{\sqrt{\frac{k\gamma}{20g}\left(A_т - \mathfrak{A}\right)^{3/2}}}{\sqrt{\frac{\Phi}{V^2}}}$ (*см²*).
374	17 сверху	70—90 *кг/см²*.	70—90 *кг/см*.

Зак. № 3178

ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАРОДНОГО КОМИССАРИАТА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА — 1941

1. Артиллерийское вооружение.
2 Артиллерийские науки.

„КУРС АРТИЛЛЕРИИ" составлен группой авторов под редакцией генерал-майора артиллерии Д. Е. Козловского.

В книге изложены вопросы устройства артиллерийских орудий, снарядов и других предметов артиллерийской техники, методы их расчета и пути дальнейшего их усовершенствования.

„Курс артиллерии" предназначен в качестве учебника для слушателей Артиллерийской Ордена Ленина академии Красной Армии имени Ф. Э. Дзержинского и слушателей вузов оборонной промышленности.

По полноте помещенных в нем сведений курс может быть полезен для начальствующего состава артиллерии Красной Армии.

Редактор военинженер 2 ранга Филиппович Н. А.

Г560

Подписано к печати 23.6.41
Объем 40,5 п. л. + 1 вкл. = 3/16 п. л. 57,6 уч.-авт. л. Зак. № 3173

Отпечатано с готовых матриц в тип. № 1 им. Володарского, управления издательств и полиграфии Исполкома Ленгорсовета.

ОГЛАВЛЕНИЕ

★

Стр.

Предисловие 11

ОТДЕЛ ПЕРВЫЙ. **ОБЩАЯ ЧАСТЬ**

Глава I. **Введение**

1. Понятие об артиллерии 13
2. Артиллерийское орудие как машина . . . . . —
3. Понятие о современной артиллерийской системе 14
4. Значение артиллерии в бою 16
5. Виды артиллерии 22
6. Типы орудий 23

Глава II. **Тактико-технические требования, предъявляемые к материальной части артиллерии**

1. Боевые требования. Могущество 26
2. Живучесть 29
3. Подвижность 31
4. Служебные требования 32
5. Экономические требования 33
6. Характеристики артиллерийских систем . . . . . —
7. Тенденции в развитии артиллерии 34

ОТДЕЛ ВТОРОЙ. **ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ПОРОХА**

Глава I. **Общие понятия о взрывчатых веществах**

1. Явление взрыва и его характеристика 37
2. Виды взрывчатых превращений: быстрое сгорание, взрыв и детонация 38
3. Взрывчатые вещества 40
4. Классификация взрывчатых веществ. Важнейшие представители 42
5. Основные требования к ВВ, применяемым в военном деле 44

Глава II. **Свойства взрывчатых веществ**

1. Чувствительность ВВ 44
2. Стойкость ВВ 48
3. Физико-химические характеристики ВВ 49

Глава III. **Инициирующие ВВ и средства инициирования**

1. Способы инициирования ВВ 53
2. Общая характеристика инициирующих ВВ 54
3. Основные инициирующие ВВ: гремучая ртуть, азид свинца и ТНРС (стифнат свинца) . . . . . —
4. Ударные и капсюльные составы 56
5. Основные требования, предъявляемые к капсюлям-воспламенителям и капсюлям-детонаторам. Устройство капсюлей 58
6. Подрывные средства. Производство подрывных работ 60

Глава IV. **Бризантные взрывчатые вещества и их применение**

1. Общая характеристика бризантных ВВ 62
2. Отдельные представители бризантных ВВ 63
3. Суррогатные взрывчатые вещества 66
4. Снаряжение снарядов и авиабомб 67

Стр.

Глава V. **Общие сведения о порохах**

1. Классификация порохов 68
2. Дымный порох 69
3. Трубочные пороха 70
4. Коллоидные пороха . . . . . —
5. Фабрикация бездымных пироксилиновых порохов и их физико-химические свойства 72
6. Свойства пироксилиновых бездымных порохов 73
7. Специальные виды порохов 74
8. Пламя при выстреле и способы его устранения 75
9. Пороха на труднолетучем растворителе (нитроглицериновые пороха) 77

Глава VI. **Марки порохов и устройство зарядов. Хранение порохов и их суррогатирование**

1. Баллистические свойства порохов в зависимости от формы порохового элемента. Подбор порохов к огнестрельному оружию 79
2. Маркировка современных порохов 80
3. Устройство боевых зарядов 83
4. Хранение порохов и зарядов и контроль их качества 86
5. Суррогатирование порохов 87

ОТДЕЛ ТРЕТИЙ. **ВНУТРЕННЯЯ БАЛИСТИКА**

Глава I. **Введение**

1. Предмет и задачи внутренней балистики 89
2. Процессы, происходящие в канале ствола во время выстрела . . . . . —

Глава II. **Горение пороха в замкнутом неизменяемом объеме**

1. Понятие о манометрической бомбе 91
2. Формула Нобля и Эйбля 93
3. Общая формула пиростатики 95
4. Понятие о приведенных длинах 96

Глава III. **Законы горения пороха**

1. Горение пороха 98
2. Закон скоростей горения 99
3. Быстрота газообразования 100
4. Закон образования газов 101
5. Закон изменения величины поверхности порохового зерна при горении 104
6. Пороха прогрессивной формы 105

Глава IV. **Работа пороховых газов в канале ствола**

1. Баланс энергии при выстреле 107
2. Основное уравнение пиродинамики 108
3. Коэфициент полезного действия заряда и коэфициент использования заряда . . 110
4. Сила нормального давления на боевую грань нареза 111
5. Понятие об износе стволов. Причины износа 114

Глава V. **Основная система уравнений внутренней балистики и понятие о ее решении**

1. Основные допущения 116
2. Решение для первого периода . . . . . —
3. Решение для второго периода 119

Глава VI. **Табличные способы решения задач внутренней балистики**

1. Таблицы проф. Н. Ф. Дроздова и таблицы АНИИ 121
2. Применение таблиц и их анализ 123
3. Определение толщины пороха, обеспечивающей заданное наибольшее давление —
4. Нахождение кривых давления на дно снаряда и скорости его при заданных условиях заряжания 124
5. Определение длины пути снаряда, обеспечивающей при заданных условиях заряжания требуемую дульную скорость снаряда 125
6. Недостатки таблиц АНИИ . . . . . —

Глава VII. **Эмпирические методы решения задач внутренней балистики**

1. Таблицы Гейденрейха 126
2. Формулы Ледюка 129
3. Диференциальные формулы 132

Стр.

Глава VIII. **Балистический расчет ствола**

1. Выбор исходных данных 133
2. Расчет при помощи таблиц АНИИ 136

Глава IX. **Определение величины наибольшего давления при выстреле из орудия**

1. Метод предварительных обжатий крешеров 141
2. Вкладной крешерный прибор 142
3. Затворный крешерный прибор . . . . . —

ОТДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ. **ВНЕШНЯЯ БАЛИСТИКА**

Глава I. **Введение**

1. Предмет внешней балистики 144
2. Основные обозначения и определения 145

Глава II. **Параболическая теория**

1. Движение центра массы снаряда в пустоте 146
2. Диференциальные уравнения движения и их интегрирование . . . . . —
3. Исследование уравнения траектории 148
4. Элементы траектории 149
5. Исследование семейства траекторий с одинаковой начальной скоростью 151
6. Закон понижений 152
7. Применение параболической теории 153

Глава III. **Движение снаряда в воздухе**

1. Сопротивление воздуха 157
2. Выражение для силы сопротивления воздуха 160
3. Законы сопротивления воздуха 161
4. Балистический коэфициент и коэфициент формы снаряда 162
5. Форма снаряда 164

Глава IV. **Движение центра массы снаряда в воздухе**

1. Составление диференциальных уравнений движения центра массы снаряда . . . 166
2. Общие свойства траектории центра массы снаряда в воздухе 169
3. Уравнение годографа и методы его интегрирования 171
4. Решение основной задачи внешней балистики по методу Эйлера-Отто 173
5. Решение основной задачи внешней балистики по методу Сиаччи 175
6. Интегрирование уравнения годографа 176
7. Определение элементов x, t и y 177
8. Элементы траектории в точке падения 178
9. Элементы вершины траектории 179
10. Применение метода Сиаччи для навесной стрельбы. „β Сиаччи“ 180
11. Вспомогательные функции Сиаччи . . . . . —

Глава V. **Табличные методы решения основной задачи и поправочные формулы**

1. Балистические таблицы АНИИ 182
2. Поправочные формулы 183

Глава VI. **Вращательное движение снаряда**

1. Устойчивость снаряда 184
2. Гироскопическая устойчивость снаряда 185
3. Крутизна нарезов 187
4. Правильность полета снаряда 188
5. Одновременное рассмотрение гироскопической устойчивости и правильности полета снаряда 191
6. Деривация . . . . . —

ОТДЕЛ ПЯТЫЙ. **БОЕПРИПАСЫ**

Глава I. **Общие сведения** 193

Стр.

Глава II. Артиллерийские снаряды

1. Общие принципы устройства артиллерийских снарядов 195
2. Классификация артиллерийских снарядов 195
3. Требования к артиллерийским снарядам 198
4. Снаряды основного назначения 200
5. Снаряды специального назначения 219
6. Особенности устройства мин 221
7. Основные расчеты снарядов 222

Глава III. Трубки и взрыватели

1. Общие принципы устройства трубок и взрывателей 225
2. Классификация трубок и взрывателей 227
3. Требования к трубкам и взрывателям 231
4. Основные расчеты трубок и взрывателей 233
5. Устройство трубок и взрывателей 236

Глава IV. Гильзы и средства воспламенения

1. Гильзы 244
2. Средства воспламенения зарядов 246

Глава V. О правилах хранения и обращения с боеприпасами в войсковых частях 248

ОТДЕЛ ШЕСТОЙ. ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ И ЗАТВОРОВ

Глава I. Устройство стенок орудийных стволов

1. Предварительные понятия 250
2. Скрепленные стволы 251
3. Напряжения и деформации в стенке цилиндрической трубы 257
4. Выражение напряжений и деформаций в функции внешних давлений и размеров трубы 262
5. Прочное сопротивление простого однослойного ствола 265
6. Необходимость скрепления орудийных стволов 268
7. Силы, напряжения и деформации в стенке скрепленного ствола . . . . . —
8. Определение дополнительных давлений из условия плотного прилегания . . . 269
9. Предел возможного сопротивления скрепленного ствола по тангенциальной и радиальной деформациям 270
10. Диаграмма напряжений в стенке скрепленного ствола 273
11. Предел прочного сопротивления скрепленного ствола по наибольшей деформации в зависимости от пределов упругости металла слоев 275
12. Натяжения, с которыми кожух должен надеваться на трубу 277
13. Применение полученных зависимостей при проектировании скрепленных стволов 279
14. Устройство ствола со свободным лейнером 282

Глава II. Устройство канала ствола

1. Части канала ствола 287
2. Устройство нарезов . . . . . —
3. Устройство камор 289

Глава III. Казенники и затворы

1. Казенники 290
2. Затворы 291
3. Сравнение клиновых и поршневых затворов 292
4. Расчет клинового и поршневого затворов 293
5. Обтюраторы 294

ОТДЕЛ СЕДЬМОЙ. ТЕОРИЯ ЛАФЕТОВ

Глава I. Введение

1. Типы лафетов 297
2. Действие выстрела на жесткий лафет 299
3. Орудие с откатом по оси канала ствола 303
4. Устройство и действие гидравлического тормоза и гидропневматического накатника 304

Стр.

Глава II. Действие выстрела на современное орудие

1. Действие выстрела на орудие с откатом по оси канала ствола 305
2. Условие устойчивости орудия во время отката 308
3. Предельный угол устойчивости 310

Глава III. Свободный откат

1. Общие соображения 312
2. Элементы движения откатных частей при свободном откате в течение первого периода 314
3. Элементы движения откатных частей при свободном откате в течение второго периода (период последействия газов) 316
4. Дульный тормоз. Его назначение, принцип действия и влияние на величину энергии отката 319

Глава IV. Торможенный откат

1. Общие соображения 321
2. Силы, действующие на откатные части при выстреле . . . . . —
3. Сила сопротивления откату R 323
4. Определение элементов торможенного отката 324
5. Торможение отката силой $R = \text{const}$ 325
6. Определение величины постоянной силы сопротивления R, действующей на всей длине отката (формула Вальe) 328
7. Торможение отката переменной силой сопротивления R 329
8. Определение длины отката λ при торможении отката переменной силой сопротивления R 333
9. Определение квадрата скорости отката во втором периоде и продолжительности отката . . . . . —

Глава V. Противооткатные устройства

1. Назначение противооткатных устройств и требования, к ним предъявляемые . . 334
2. Накатники, их назначение, классификация и схемы устройства 335
3. Гидравлические тормозы отката, их назначение, классификация и схемы устройства 337

Глава VI. Расчет накатников

1. Начальная сила накатника 340
2. Пружинные накатники . . . . . —
3. Гидропневматические накатники 342

Глава VII. Расчет гидравлических тормозов отката

1. Предварительные сведения 345
2. Формула Канэ для силы гидравлического тормоза неверетенного типа 346
3. Формула для расчета отверстий истечения в тормозах неверетенного типа . . 348
4. Формула для силы гидравлического тормоза отката веретенного типа . . . . . —
5. Формула для расчета отверстий истечения в тормозе веретенного типа 350
6. Условие, которому должно удовлетворять среднее значение сечения кольцевого канала Ω 351
7. Общие соображения, относящиеся к расчету гидравлического тормоза 352
8. Расчет тормоза отката веретенного типа 354
9. Расчет тормоза неверетенного типа 356

Глава VIII. Накат орудия

1. Общие соображения 358
2. Сопротивление накату 360
3. Устойчивость орудия при накате 361
4. Общие соображения по расчету тормоза наката 363
5. Торможение наката в стационарных установках 364

Глава IX. Усилия, возникающие в различных частях лафета при выстреле и во время наводки

1. Определение реакций, действующих на качающуюся часть орудия 366
2. Определение реакций, действующих на вращающуюся часть орудия 368
3. Определение усилий, необходимых для наводки орудия 369
4. Уравновешивающий механизм 372

Глава X. Лафет как повозка 373

Стр.

ОТДЕЛ ВОСЬМОЙ. МАТЕРИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ

Глава I. Требования к орудиям различного назначения

1. Батальонная и полковая артиллерия . . . 377
2. Дивизионная артиллерия . . . 379
3. Горная артиллерия . . . 380
4. Конная артиллерия . . . 381
5. Корпусная артиллерия . . . 382
6. АРГК . . . 383
7. Зенитная артиллерия . . . 384
8. Авиационная и танковая артиллерия . . . 385

Глава II. Устройство стволов и затворов

1. Устройство стволов . . . 388
2. Общие требования, предъявляемые к затворам . . . —
3. Типы затворов . . . —
4. Общие принципы устройства клиновых затворов . . . 389
5. Основания устройства поршневых затворов . . . 390
6. Клиновой затвор . . . 392
7. Поршневые затворы . . . 394
8. Поршневой затвор с поршнем, только вращающимся в раме . . . 395
9. Затвор с продольным движением в раме . . . 400
10. Понятие об автоматическом затворе . . . 403
11. Полуавтоматические затворы . . . —
12. Полуавтоматический затвор, использующий энергию наката . . . —
13. Полуавтоматика смешанного типа . . . 404

Глава III. Устройство лафетов. Основные механизмы

1. Требования к лафетам . . . 405
2. Противооткатные устройства . . . 406
3. Тормозы отката . . . —
4. Накатники . . . —
5. Компенсаторы . . . 407
6. Сальники . . . 409
7. Жидкость для наполнения тормозов и накатников . . . —
8. Способы наполнения противооткатных устройств жидкостью и воздухом . . . 410
9. Указатели отката . . . —
10. Противооткатные устройства с пружинным накатником . . . 411
11. Противооткатные устройства с воздушным накатником . . . 412
12. Противооткатные устройства клапанного (золотникового) типа . . . 414
13. Общие требования к поворотным и подъемным механизмам . . . 418
14. Поворотные механизмы . . . 419
15. Подъемные механизмы . . . 424
16. Цапфенные подвесы . . . 425

Глава IV. Вспомогательные механизмы лафетов

1. Выравнивающие механизмы . . . 426
2. Горизонтирующие механизмы . . . 427
3. Уравновешивающие механизмы . . . 428
4. Механизмы для приведения орудия в положение для заряжания . . . 430
5. Тормозные и другие приспособления в подъемных и поворотных механизмах . . . 431
6. Средства для заряжания . . . 432

Глава V. Лафет как повозка. Устройство ходовых частей

1. Устройство осей . . . 433
2. Устройство колес . . . 434
3. Подрессоривание . . . 437
4. Крепление „по-походному“ . . . 440
5. Способы соединения ходов . . . 441

Глава VI. Передки и зарядные ящики

1. Общие указания . . . 441
2. Передки и зарядные ящики легкой артиллерии . . . 442
3. Передки тяжелой артиллерии . . . 445
4. Тормозы походного движения . . . —

Стр.

Глава VII. Переход из походного положения в боевое и обратно

1. Общие замечания 446
2. „Переход" зенитных систем 447
3. „Переход" тяжелых систем 449

Глава VIII. Самоходные установки 450

Глава IX. Железнодорожные установки 451

ОТДЕЛ ДЕВЯТЫЙ. СТРЕЛКОВОЕ ОРУЖИЕ

Глава I. Автоматическое оружие

1. Введение 455
2. Современное автоматическое оружие. Его свойства 456
3. Принципы устройства и действия автоматики. Классификация систем автоматического оружия 460
4. Виды современного автоматического оружия. Его назначение и требования, предъявляемые к нему 468
5. Подача патронов в автоматическом оружии 475
6. Пулеметные станки и установки. Их классификация 479

Глава II. Материальная часть стрелкового оружия

1. Винтовка обр. 1891/30 г. 480
2. Револьвер обр. 1895 г. 481
3. Пистолет обр. 1930 г. . . . . —
4. Ручной пулемет ДП 483
5. Танковый пулемет ДТ 488
6. Станковый пулемет системы Максима обр. 1910 г. 490
7. Авиационный пулемет ПВ-1 501

Глава III. Боеприпасы стрелкового оружия

1. Патроны. Виды патронов и требования, предъявляемые к ним 503
2. Патрон 7,62-*мм* калибра с легкой пулей обр. 1908 г. 505
3. Патрон 7,62-*мм* калибра с тяжелой пулей обр. 1930 г. 507
4. Патрон 7,62-*мм* калибра с бронебойной пулей обр. 1930 г. 508
5. Патрон 7,62-*мм* калибра с трассирующей пулей обр. 1930 г. . . . . —
6. Патрон 7,62-*мм* калибра для револьвера обр. 1895 г. (Наган) 509
7. Пистолетный патрон 7,62-*мм* калибра . . . . . —
8. Патроны крупнокалиберных пулеметов и автоматических пушек 510
9. Действие пуль . . . . . —

Глава IV. Ручные и ружейные гранаты

1. Ручные гранаты 511
2. Ручная граната обр. 1933 г. (РГД-33) 514
3. Ручная граната обр. 1914/30 г. 517
4. Ручная граната марки Ф-1 518
5. Ружейные гранаты 520
6. Ружейный гранатомет и ружейная граната, состоящие на вооружении Красной Армии . . . . . —

ОТДЕЛ ДЕСЯТЫЙ. АРТИЛЛЕРИЙСКИЕ ПРИБОРЫ И ПРИЦЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Глава I. Введение

1. Назначение артиллерийских приборов 525
2. Понятие о системе ПУАО и ПУАЗО 526
3. Общие требования, предъявляемые к артиллерийским приборам . . . . . —

Глава II. Основания устройства оптических приборов

1. Глаз и зрение 527
2. Стереоскопическое зрение 528
3. Оптическая система глаз — лупа 529
4. Телескопическая система . . . . . —

Стр.

5. Оборачивающие системы и призмы 530
6. Увеличение оптического прибора 534
7. Поле зрения оптического прибора 535
8. Зрачки входа и выхода 536
9. Светосила оптического прибора 537
10. Разрешающая сила оптического прибора 538

Глава III. **Приборы наблюдения и измерения координат**

1. Координаты и единицы их измерения 539
2. Бинокль 540
3. Перископы 542
4. Большая стереотруба 544
5. Буссоль системы Михайловского—Турова (БМТ) 546
6. Принцип измерения дальности 548
7. Принцип устройства монокулярных дальномеров 550
8. Точность измерения дальности оптическими дальномерами 553
9. Монокулярный дальномер ДП 556
10. Монокулярный дальномер ДК 558
11. Стереоскопические дальномеры 560
12. Звуковая засечка целей 562
13. Принцип работы звукометрических приборов 563
14. Звукометрическая станция обр. 1930 г. 565

Глава IV. **Приборы управления огнем наземной артиллерии**

1. Артиллерийская логарифмическая линейка системы Иориша обр. 1936 г. 567
2. Поправочник системы Готлиба 572
3. ПУО-32 578
4. Автокорректор обр. 1932 г. 587

Глава V. **Приборы управления артиллерийским зенитным огнем**

1. Особенности стрельбы по быстродвижущимся целям 590
2. Решение задачи встречи 593
3. ПУАЗО-2 595
4. Синхронная передача 601
5. Время запаздывания установки трубки 604
6. Механический установщик трубки 605
7. Звукоулавливатели и прожекторы 607
8. Контрольный углоизмерительный прибор „кинотеодолит" 611

Глава VI. **Прицельные приспособления**

1. Сущность наводки и ее виды 614
2. Терминология и определения . . . . . —
3. Принцип устройства прицелов для прямой наводки 616
4. Принцип устройства качающихся прицелов 617
5. Принцип устройства прицелов для непрямой наводки 618
6. Нормализованный прицел обр. 1930 г. 619
7. Артиллерийская панорама 620
8. Прицелы, автоматически учитывающие деривацию 621
9. Шкалы прицельных приспособлений 623
10. Влияние наклона плоскости угломера панорамы на наводку . . . . . —
11. Влияние наклона оси цапф на наводку 625
12. Прицельные приспособления с независимой линией прицеливания 627
13. Прицелы не зависимые от орудия 628
14. Прицельное приспособление для стрельбы по воздушным целям 631
15. Оптические прицелы станковых пулеметов 633
16. Винтовочные оптические прицелы 635
17. Прицелы противотанковых орудий 636
18. Танковые прицелы 637
19. Зенитные автоматические прицелы 640
20. Автоматический прицел фирмы Цейс 644
21. Зенитный пулеметный прицел обр. 1929 г. 646

ПРЕДИСЛОВИЕ

Артиллерия как наука рассматривает:

а) вопросы устройства артиллерийских орудий, снарядов и прочих предметов артиллерийской техники, приемы и методы их расчета, а также пути усовершенствования орудий в соответствии с современным состоянием науки и техники;

б) вопросы эксплоатации артиллерийской техники и использования ее в бою как в смысле наивыгоднейшего распределения в соответствии с боевыми задачами войск (тактика артиллерии), так и в смысле непосредственного решения огневых задач (стрельба артиллерии).

Каждая из этих групп вопросов представляется столь обширной, что их нельзя охватить в одной дисциплине. Поэтому они рассматриваются рядом отдельных наук.

Вопросы первой группы изучаются следующими науками:

1. „Взрывчатые вещества и пороха", рассматривающая теорию, технологию изготовления, свойства и способы применения взрывчатых веществ и порохов. Это наука об основных источниках энергии в артиллерии.

2. „Внутренняя балистика", изучающая характер действия пороха в канале ствола артиллерийского орудия, распределение в нем давлений и их величину, а также наивыгоднейшие условия заряжания. Внутренняя балистика дает исходные данные для расчета артиллерийских орудий, снарядов, трубок и взрывателей.

3. „Внешняя балистика", изучающая полет снаряда и методы определения балистических данных орудия: дальность, высоту, время полета и углы возвышения, отвечающие тактическим требованиям. На ее выводах базируются при проектировании стволов, снарядов и взрывателей.

4. „Основания устройства боеприпасов", охватывающая основания рационального расчета и устройства снарядов, трубок, взрывателей и гильз на базе выводов внутренней и внешней балистики и в соответствии с тактико-техническими требованиями.

5. „Проектирование стволов", излагающая основания рационального устройства стволов как с точки зрения получения требуемых балистических данных, так и с точки зрения прочности и надежности их действия.

6. „Теория лафетов", рассматривающая силы, действующие на лафет как во время выстрела, так и во время движения (если лафет одновременно служит и для перевозки системы), а также основания расчета всех механизмов и частей лафетов, исходя из зависимостей, даваемых внутренней балистикой, и требований тактики.

7. „Устройство материальной части артиллерийских систем", включающая и приборы для стрельбы, наблюдения, разведки и пр.

Вопросы второй группы рассматриваются следующими науками:

1. Тактика артиллерии и снабжение артиллерии в бою.
2. Теория стрельбы.
3. Эксплоатация техники артиллерии.

Эти науки изучают тактико-технические требования, предъявляемые при проектировании всех предметов артиллерийского вооружения, относящихся к материальной части артиллерии.

Вследствие специфичности процессов изготовления предметов артиллерийского снабжения они рассматриваются специальной „Артиллерийской технологией": взрывчатых веществ, порохов, стволов, лафетов, снарядов, трубок, приборов.

Наконец, развитие механического транспорта и его широкое применение в артиллерии привели к созданию специального отдела артиллерийской науки „Механическая тяга в артиллерии".

Все перечисленные отделы артиллерийской науки основываются на изучении как общевоенной истории, так и специальной „истории артиллерии", почему в цикл артиллерийских наук необходимо включить и отдел „История артиллерии".

По каждой дисциплине имеются специальные курсы, в которых вопросы изложены со всей полнотой, курсы большого объема. Однако в настоящее время в связи с широким развитием артиллерийской техники, распадающейся на большое число специальностей, для подготовки инженера данного профиля не требуется полное изучение всех артиллерийских дисциплин, что было бы и невозможным. По некоторым из них можно ограничиться меньшим, но тем не менее достаточным объемом. Это и послужило основанием к составлению настоящего „Курса артиллерии".

Курс составлен группой преподавателей Артиллерийской Ордена Ленина академии Красной Армии имени Ф. Э. Дзержинского под общей редакцией профессора, доктора военных наук, генерал-майора артиллерии Д. Е. Козловского.

Курс включает лишь отделы артиллерии, охватывающие первую группу вопросов, изучаемых в артиллерии. Им предшествует „Общая часть", содержащая общие сведения об артиллерии, ее назначении и значении в современном бою, о видах артиллерии, типах орудий и требованиях к материальной части артиллерии.

Таким образом, „Курс артиллерии" содержит следующие отделы:

1. „Общая часть" — автор генерал-майор артиллерии Д. Е. Козловский.
2. „Взрывчатые вещества и пороха" — автор военинженер 1 ранга Н. А. Шиллинг.
3. „Внутренняя балистика" — автор майор К. К. Гретен.
4. „Внешняя балистика" — автор военинженер 1 ранга В. И. Остапович.
5. „Боеприпасы" — автор военинженер 1 ранга Г. М. Третьяков.
6. „Основания устройства орудийных стволов и затворов" — автор военинженер 1 ранга Э. К. Ларман.
7. „Теория лафетов" — автор военинженер 2 ранга А. Н. Куприянов.
8. „Материальная часть артиллерийских систем" — автор генерал-майор артиллерии Д. Е. Козловский.
9. „Стрелковое оружие" — автор военинженер 1 ранга Н. Н. Дубовицкий.
10. „Артиллерийские приборы" — автор военинженер 2 ранга И. А. Персин.

„Прицельные приспособления" — автор военинженер 2 ранга И. Н. Ананьев.

Редактор

ОТДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОБЩАЯ ЧАСТЬ

★

ГЛАВА I

ВВЕДЕНИЕ

1. Понятие об артиллерии

Разные авторы производят слово „артиллерия" от различных слов. Одни полагают, что оно произошло от латинских слов arcus (лук) и telum (стрела); другие считают, что оно происходит от ars (искусство) и tollere (поднимать); третьи производят его от итальянского arte de tirare (искусство стрелять) или artilla (уменьшительное от „искусства") и от artiglio (крюк для обваливания стен). Французский маршал Вобан производит слово „артиллерия" от artilare (заготовлять, припасать).

На Руси слово „артиллерия" вошло в употребление при Петре I. До того пользовались термином „наряд".

Под словом „артиллерия" понимают: 1) род войск, 2) всякого рода и вида боевое, военное оружие и 3) науку об устройстве и способах употребления оружия.

2. Артиллерийское орудие как машина

Современное артиллерийское орудие представляет собой тепловую машину, основанную на использовании энергии газов, которые образуются при превращении некоторых веществ, относящихся к классу взрывчатых (метательные ВВ, или пороха). Артиллерийское орудие по сравнению с другими машинами является машиной весьма оригинальной как по условиям, так и по характеру ее работы.

В самом деле, артиллерийские орудия, применяемые в боевой обстановке, не могут быть рассчитаны на заранее определенные благоприятные условия работы. Они должны быть приспособлены к действию в любых условиях местности, времени и погоды и притом работать безотказно. Это относится и ко всем тем элементам и приборам, которые, как это будет указано далее, входят в состав артиллерийской системы.

При выстреле в орудии происходят сложные химические процессы газообразования, в результате чего развиваются очень высокие температуры (до 2500—3000° С) и давления (до 3000—3500 *кг/см*^{2}). При этом производится огромная работа по сообщению движения снаряду. Весь цикл этой работы протекает в очень короткие промежутки времени, измеряемые сотыми и даже тысячными долями секунды. Срок действительной службы ствола орудия измеряется лишь секундами. В самом деле, ствол орудия после сравнительно небольшого числа выстрелов приходит в состояние, при котором дальнейшее его боевое применение становится уже невозможным. Для орудий крупных калибров это состояние наступает после 150—200 выстрелов, а для средних и малых

калибров — после 10—15 тысяч выстрелов. Помножив на эти числа продолжительность явления выстрела, например 0,03 секунды в первом случае и 0,003 секунды во втором, получим срок действительной службы орудия соответственно 6 и 45 секунд.

Несмотря на столь короткий срок службы, производительность артиллерийского орудия весьма велика. Коэфициент полезного действия орудия около 35%, и несмотря на это, мощность выстрела, даже для орудия небольшого калибра, измеряется сотнями тысяч лошадиных сил.

Так, 75-*мм* современная пушка дивизионной артиллерии сообщает снаряду весом $q = 6{,}5$ *кг* начальную скорость $v_0 \approx 800$ *м/сек*. Энергия, приобретенная снарядом в канале ствола, будет:

$$E_0 = \frac{qv_0^2}{2g} = \frac{6{,}5 \cdot 800^2}{2 \cdot 9{,}81} \approx 212\,000 \text{ кгм}.$$

Так как эта энергия получается в течение всего лишь 0,003 секунды, то мощность получится равной 940 000 *л. с.* В орудиях же больших калибров (356 *мм* и более) снаряд весит в 100—150 раз больше, и поэтому мощность получается порядка 9—12 млн. *л. с.*

Артиллерийское орудие должно обладать большой подвижностью. Под этим понимают не только быстрое перемещение орудия, но и возможность быстро устанавливать его на любой местности для боя, а в боевом положении — быстро изменять его направление, в зависимости от положения цели и ее движения.

К особенностям работы артиллерийского орудия следует отнести и то, что для его обслуживания требуются грамотные, культурные, высокообученные кадры.

3. Понятие о современной артиллерийской системе

Огнестрельная артиллерия появилась в Европе в начале XIV века. Первые огнестрельные орудия имели весьма простое устройство, и действие их было главным образом моральное. Современники подчеркивают, что орудия стреляли „с большим шумом и громом", не указывая, однако, на наносимые ими противнику потери.

С момента перехода к изготовлению литых чугунных или бронзовых стволов (в XVI веке) конструкции артиллерийских орудий приобрели вид, сохранившийся до середины прошлого столетия; они подвергались лишь изменению по размерам и совершенствованию в смысле точности изготовления. В артиллерийской системе, собственно, был один подъемный механизм (поворотный механизм в виде правила или какого-либо рычага едва ли может быть причислен к механизмам). Обычно ход не считают механизмом, но если и его причислить к последним, то в системе полевого (дивизионного) орудия было всего два механизма.

Снаряды также имели весьма простое устройство: это были либо сплошные шары (ядра из чугуна, камня или свинца), либо полые шары, снаряжавшиеся порохом (гранаты), а с начала XIX века и пулями (картечные гранаты). Кроме того, находили применение картечь, а также осветительные и зажигательные снаряды. Средства для сообщения огня боевому и разрывному зарядам были самые простые: фитиль в первом случае и наполненная порохом деревянная или свинцовая трубка — во втором.

Приборов для стрельбы не было. Даже прицелы, в современном понимании, начали применять лишь в конце XVIII века. Дальность действительного огня до середины XIX века едва достигала 1 000 *м*. Тем не менее артиллерия приобретала все большее и большее значение, и ее процентное отношение к пехоте и кавалерии непрерывно возрастало.

С развитием науки и техники артиллерийская система постепенно совершенствовалась, а ее боевые свойства повышались. Следует отметить,

что появление первого метательного оружия вызвало изменение тактики действия войск в бою: густые многошереножные строи стали заменять строями, эшелонируемыми в глубину. Развитие боевого порядка в глубину в свою очередь вызывало необходимость увеличения дальнобойности и т. д. Таким образом, развитие артиллерии влияло на тактику, а тактика в свою очередь ставила новые задачи артиллерии, вызывая ее дальнейшее развитие и требуя создания новых видов орудий.

Постепенно артиллерия стала диференцироваться как по назначению, так и по видам и типам орудий. Уже Петр I разделил артиллерию на полковую, полевую, крепостную („гварнизонную") и осадную („брештовую", „проломную"). Ему же приписывают учреждение конной артиллерии.

Кроме того, еще значительно раньше установилось разделение артиллерийских орудий на типы: пушки, гаубицы и мортиры.

В дальнейшем развитие артиллерийских орудий шло по путям, намеченным, можно сказать, еще при самом их зарождении. Пути эти следующие:

а) увеличение дальнобойности;

б) увеличение могущества снаряда, т. е. его веса и скорости, а также выбор снаряжения (взрывчатые вещества);

в) придание большей правильности полета снаряду;

г) увеличение скорострельности;

д) увеличение живучести;

е) увеличение подвижности.

Опыт первой империалистической войны показал также необходимость увеличения углов обстрела в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Перечисленные направления развития относятся вообще ко всем системам и видам артиллерийских орудий, но при разработке проекта орудия они оказываются во многом противоречивыми. Поэтому всегда нужно иметь в виду прежде всего назначение орудия и его тактическое (боевое) применение. Иногда, например, требование уложиться в определенный вес для обеспечения необходимой подвижности может ограничить дальнобойность орудия. Следовательно, конструктор должен основательно изучить насущнейшие тактические требования к орудию данного назначения и на основании этого решить, чем можно поступиться в целях возможно более полного их удовлетворения.

Совершенствуясь по приведенным направлениям развития, артиллерийская система к настоящему времени далеко ушла от первых ее образцов. Это неизбежно привело к усложнению системы, к увеличению в ней числа механизмов и вспомогательных средств, а также к увеличению ее веса и стоимости. Для иллюстрации сказанного приведем данные (таблица 1), характеризующие артиллерийские системы полевой (дивизионной) артиллерии с середины XVIII века.

До появления разрывных снарядов для измерения калибра в России был принят вес сплошного чугунного снаряда — ядра, диаметром 2 дюйма, так называемый артиллерийский фунт. С появлением снаряжаемых порохом полых чугунных снарядов (в XVI веке), получивших название гранат, калибр орудий (мортиры, гаубицы и единороги, а впоследствии и пушки) стали определять в пудах, по весу гранаты или бомбы. Зазор (разность между диаметром снаряда и калибром) для орудий до 24-фунтового калибра делали в $^1/_{29}$ калибра. У более крупных орудий зазор указывался в линиях. Зная это, а также и то, что веса подобных тел пропорциональны кубам их линейных размеров, легко подсчитать калибр по весу ядра. Что же касается орудий, калибр которых выражался в пудах, то для нахождения их калибра в линейных мерах нужно иметь в виду еще следующее.

Артиллерийский фунт равен 1,2 торгового фунта, а вес разрывного снаряда равен $^2/_3$ веса ядра того же калибра. Определение калибра

по весу снаряда сохранилось в России до введения дальнобойной артиллерии в 1877 г., когда было принято линейное значение для калибра. В Англии и по настоящее время иногда пользуются старым обозначением калибра в фунтах.

Таблица 1

Характеристики артиллерийских орудий различных периодов

(числа несколько округлены)

Название орудий	Калибр в *мм*	Длина ствола в калибрах	Вес снаряда в *кг*	Начальная скорость снаряда в *м/сек*	Дальнобойность в *м*	Наибольший угол возвышения в градусах	Угол горизонтального обстрела[3] в градусах	Скорострельность (выстрелов в минуту)	Вес в боевом положении в *кг*	Скорость движения в *км/час*	Число механизмов[6]
1/2-пуд. единорог 1758 г.[1]	152	9	8,2	400	1 500	10	0	1	1 180	До 12[4]	2
6-фунт. пушка 1838 г.	96	16	2,9	450	2 000	12	0	1	667	„ 12	2
4-фунт. пушка 1867 г.	87	19	5,7	305	3 400	17	0	1	800	„ 12	3
Полевая легкая пушка 1877 г. . .	87	24	6,7	445	6 400	18	0	2	1 000	„ 12	4
Полевая легкая пушка 1895 г. . .	87	24	6,7	445	6 400	18	± 2,5	4	1 100	„ 12	6
76-*мм* скорострельная пушка 1902 г.	76,2	30	6,5	588	6 800	17	± 2,7	10	1 230	„ 12	10
75-*мм* дивизионная пушка 1912 г.[2] .	75	30	6,5	510	8 600	70	± 27	—	1 300	„ 12	15
75-*мм* дивизионная пушка, современная	75	45	6,5	660	14 000	45	± 30	20	1 600	„ 60[5]	18
75-*мм* универсальная пушка . . .	75	55	6,5	800	15 000	82	360	До 25	2 000—3 000	„ 60	20

В систему артиллерийского орудия, как уже отмечено было ранее, входят боевые припасы, различные приборы для стрельбы, наблюдения целей, целеуказания, разведки и определения метеорологических и топографических данных, а также средства связи и перевозки.

Все эти средства и приборы должны быть надежны в действии при самых разнообразных условиях обстановки.

Разработка артиллерийских орудий, как и всех перечисленных предметов, требует строго научного обоснования и изучения опыта как военного, так и мирного времени.

4. Значение артиллерии в бою

Непрерывно совершенствуясь технически, артиллерия приобретает все большее и большее значение в бою.

Артиллерия обладает наибольшей мощью и дальностью огня из всех наземных родов войск.

---

[1] В период гладкостенной артиллерии калибр орудия указывался по весу снаряда.

[2] Итальянской артиллерии.

[3] Придаваемый поворотным механизмом.

[4] Конная тяга.

[5] Механическая тяга.

[6] Крупных механизмов (агрегатов), из которых каждый распадается на несколько более простых. Например, затвор современного орудия нередко состоит из 5—6 механизмов.

Обрушиваясь своим губительным огнем на всю глубину боевого порядка, артиллерия подавляет и уничтожает живую силу, артиллерию и огневые средства противника, его резервы, органы управления и боевой тыл. Она поражает авиацию и, вместе с танками, является основным средством поражения танков противника.

Артиллерия является единственным надежным и мощным средством разрушения долговременных укреплений и оборонительных позиций.

Все действия войск в поле боя должны быть поддержаны артиллерией. Артиллерия, подавляя и уничтожая противника, расчищает путь всем наземным родам войск — в наступлении и преграждает путь врагу — в обороне. Наиболее решительные и быстрые результаты в бою обеспечиваются массированным, внезапным и гибко управляемым огнем артиллерии.

С самого зарождения артиллерии количество орудий в составе вооруженных сил непрерывно возрастало не только по абсолютному числу их, но и по отношению к числу бойцов. Ф. Энгельс приводит следующие данные о числе орудий в армии Фридриха Великого: в 1756 г. на 70 000 солдат было 206 орудий, в 1762 г. на 67 000 солдат — 275 орудий, а в 1778 г. на 180 000 солдат — 811 орудий[1]. Кюльман[2] приводит следующие данные о числе орудий на 1 000 штыков: в 1870 г. в Германии было 3,6 орудия, а в 1914 г. уже 6,4 орудия. Далее он указывает, что это соотношение доходило по крайней мере до 8 орудий, если принять во внимание большое количество артиллерии, не входившей в войсковые соединения (таблица 2).

Увеличение числа различных вспомогательных средств (приборов для наблюдения, разведки и стрельбы) шло еще быстрее. Это с несомненностью указывает, что значение артиллерии неуклонно возрастало, что она оказывала войскам на поле боя все бо́льшую и бо́льшую помощь. Если в начале прошлого столетия артиллерия придавалась лишь крупным войсковым соединениям и на полях сражений действовала в виде многоорудийных батарей, то в настоящее время она проникает во все мельчайшие части войсковых соединений и действует часто поорудийно. Но когда нужно потрясти весь организм боевого порядка противника, артиллерия может открыть сосредоточенный, массированный огонь, который прижмет противника к земле и заставит уйти в убежище, а его артиллерию — замолчать. Когда противник парализован, наступающая пехота может без большого сопротивления двигаться вперед. „Артиллерия завоевывает, пехота занимает", — говорили французы.

О результатах действия артиллерии под Верденом 20—26 августа 1917 г. Эрр[3] пишет: „Артиллерийская подготовка, благодаря превосходным методам выполнения, достигла выдающихся результатов: укрепления противника были разгромлены, пулеметы погребены под землей, батареи уничтожены или приведены к молчанию, большие убежища разрушены".

Мощь артиллерии блестяще подтвердилась в борьбе артиллерии Красной Армии с укреплениями линии Маннергейма на Карельском перешейке в 1939—1940 гг.

В статье 3 Боевого устава артиллерии (ч. II, 1937 г.) перечислены „основные боевые свойства", которыми обладает артиллерия для осуществления ее боевых задач, а именно:

а) дальнобойность;

б) внезапность поражения;

в) гибкость огня, допускающая осуществление быстрых его переносов и массирования;

---

[1] Ф. Энгельс, Избранные военные произведения, т. I, 1936, стр. 268.

[2] Кюльман, Тактика артиллерии, ч. I, Воениздат, 1939, стр. 324—325.

[3] Эрр, Артиллерия в прошлом, настоящем и будущем, 1924.

г) способность поражать открытые, укрытые и находящиеся в воздухе цели;

д) живучесть в бою.

„Артиллерия требует предоставления ей необходимого времени на развертывание при обязательном обеспечении боеприпасами".

Артиллерия также может поражать и подводные цели. Она обладает способностью к продолжительному непрерывному действию.

Для характеристики того, как возрастало число артиллерийских орудий и пулеметов и как шло внедрение артиллерии в войсковые соединения во время войны 1914—1918 гг., приводим следующую таблицу.

Таблица 2

Число артиллерийских орудий и пулеметов в дивизиях французской и германской армий во время войны 1914—1918 гг.

Состав дивизий	Начало войны		Конец 1916 г.		Конец 1917 г.		Ноябрь 1918 г.	
	франц.	герм.	франц.	герм.	франц.	герм.	франц.	герм.
Пехотинцев	13 374	13 200	12 582	10 500	8 337	8 850	8 578	6 750
Артиллеристов	1 609	2 600	2 651	2 600	3 033	2 450	2 675	2 200
% артиллерии к пехоте	12,7	19,7	21,1	24,8	36,4	25,7	31,2	32,6
Станковых пулеметов	24	24	72	54	120	132	133	124
Ручных пулеметов	—	—	216	108	432	216	441	216
Число пулеметов на 1 000 человек	1,8	1,8	22,8	15,4	67,7	39,6	55,2	50,8
Орудий легких	36	72	36	36	36	36	36	32
Орудий тяжелых	—	—	—	—	8	12	8	9
37-*мм* пушек	—	—	—	—	9	—	9	—
Минометов	—	—	—	—	—	12	—	36
Число орудий на 1 000 пехотинцев	2,8	5,7	2,9	3,4	6,4	6,9	6,2	11,4

Таблица наглядно показывает, как возрастало число огневых средств, организационно придаваемых войскам. В сражениях эти средства очень часто увеличивались за счет резерва главного командования. Так, в сражении при Урке 29 июля 1918 г. у американцев на 13 000 человек было 232 артиллерийских орудия, или 17 орудий на 1 000 человек, при Сен-Михеле на 114 000 человек было 2 336 орудий, или 20,5 орудия на 1 000 человек, тогда как число орудий войсковой артиллерии на 1 000 человек колебалось около 5.

Расход боеприпасов также возрастал непрерывно и достигал во время войны 1914—1918 гг. колоссальных размеров. Армия США за всю войну 1861—1865 гг. израсходовала примерно 5 000 000 выстрелов. Германская армия во Франко-прусскую войну 1870—1871 гг., продолжавшуюся около полугода, израсходовала 813 000 выстрелов, а русская армия в Русско-японскую войну 1904—1905 гг., длившуюся около полутора лет, — 954 000 выстрелов. А в первую империалистическую войну было израсходовано:

германской артиллерией	285 253 500 выстрелов, в среднем в месяц	9 000 000
английской	170 385 295	7 100 000
французской	163 630 000[1]	8 000 000

На фронте 4-й французской армии за один день 26 сентября 1918 г. было выпущено 1 315 000 снарядов 75-*мм* и 360 000 тяжелых, а всего 1 675 000 снарядов. И это артиллерией только одной армии, и только в один день! Для доставки этого количества боеприпасов потребовалось бы 176 поездов по 30 вагонов каждый.

[1] Только 75-*мм* снарядов.

До каких размеров возрастет расход боеприпасов в будущей войне, сказать трудно. Маршал Советского Союза товарищ Ворошилов в своей речи на XVIII партийном съезде сказал, что один залп всей артиллерии корпуса весит:

во Франции	6 373 *кг*,	а в минуту	51 462 *кг*
в Германии	6 078 „	„	48 769 „
„ Советском Союзе	7 136 „	„	66 605 „

Кюльман в названном выше труде приводит следующие данные о весе снарядов, выбрасывавшихся артиллерией германского корпуса в минуту: в 1870 г. — около 1 100 *кг* и в 1914 г. — примерно 10 500 *кг*. Таким образом, возрастание веса снарядов, выбрасываемых артиллерией корпуса в 1 минуту, для 1870 г., 1914 г. и в наше время выражается примерно отношением 1 : 10 : 66.

Эти цифры указывают на трудности, которые придется преодолевать при снабжении артиллерии боеприпасами, как вследствие их большого количества, так и потому, что они представляют собой груз, разбиваемый на небольшие отдельные части, притом груз, требующий особо бережного обращения.

Чтобы вся эта масса металла и взрывчатых веществ, выбрасываемая артиллерией, достигла цели и дала ожидаемый результат, необходимо тщательно разведать цели, найти их и точно указать батареям. Необходимо следить за собственными разрывами и вносить соответствующую корректуру. Для этого артиллерия пользуется различными приборами и инструментами: оптическими, электрическими, звукометрическими и метеорологическими, которые очень сложны и требуют некоторого времени для их установки и подготовки к выполнению работы. С помощью приборов ведут наблюдение как наземное, так и с воздуха.

По французским данным, различными средствами разведки было определено следующее число огневых позиций батарей противника (таблица 3).

Таблица 3

Число огневых позиций, определенных различными средствами

Период времени	С 26 июня по 13 августа 1918 г.		С 7 апреля по 8 июля 1918 г.		С 18 июля по 31 августа 1918 г.	
Средства разведки	число определенных целей	то же в %	число определенных целей	то же в %	число определенных целей	то же в %
Звукометрия	45	28	974	56	367	59
Светометрия	54	34	794	44	177	28
Авиация	60	38	—	—	56	9
Привязные аэростаты	—	—	—	—	25	4
Прочие средства	—	—	—	—	2	ок. 0
Итого	159	100	1 768	100	627	100

По английским данным, англичанами в 1917 г. из общего числа определенных неприятельских батарей было обнаружено: $37\frac{1}{2}\%$ средствами звукометрии, 28% — другими средствами наземной разведки, $26\frac{1}{2}\%$ — самолетами и $7\frac{1}{2}\%$ — аэростатами.

Что касается точности, с которой определялись цели, то, по французским данным, из 100 батарей одного германского корпуса были обозначены вполне точно 71%, с ошибками до 100 *м* — 19%, с ошибками до 300 *м* — 8% и совсем не обозначено — 2%; из 30 батарей другого германского корпуса — соответственно 90; 3; 0 и 7%.

Из 1 768 целей, которые были определены с 7 апреля по 8 июля 1918 г. (см. таблицу 3), обозначены:

С ошибкой	до 50 *м*	звукометрией 59%,	светометрией	34%
„ „	50—100 „	„ 34%	„	48%
„ „	более 100 „	„ 7%	„	18%
Средняя ошибка		„ 56 *м*	„	64 *м*

Действие артиллерии стало не только моральным, как это было при ее возникновении, но и наносящим серьезные потери в людях и материальный урон. Действие ее стало весьма губительным и разрушительным. В таблице 4 показано, как с течением времени повышался процент потерь от артиллерийского огня по сравнению с ружейным и пулеметным.

Таблица 4

Потери (в процентах) от действия различного вида оружия и других причин

	От ружейно-пулеметного огня	От артиллерийского огня	От прочих причин
Франко-прусская война 1870—1871 гг.:			
у французов	70	25	5
„ немцев	90	9	1
Русско-японская война:			
у японцев	85	8,5	6,5
„ русских	86	14	—
Первая империалистическая война 1914—1918 гг.:			
у французов	23	67	10
В отдельных сражениях процент потерь во французской армии распределяется следующим образом:			
Эн — Шампань, 1917 г.	21,4	73,5	5,1
Фландрия, 1917 г.	9,7	78,3	12
Верден, август 1917 г.	6,1	77,2	16,7
Мальмезон, октябрь 1917 г.	17,0	77,0	6,0
Пикардия, ноябрь 1918 г.	34,0	51,7	14,3
Эн, май 1918 г.	31,6	56,3	12,1

Конечно, значение артиллерии заключается не только в числе наносимых ею потерь, но и в том, что она, и только она одна, может сокрушить, разрушить самые прочные преграды и сравнять с землей массивные фортификационные сооружения. Главным образом благодаря губительному огню артиллерии так быстро падали возводившиеся годами крепости из бетона, железобетона и брони. По данным проф. Яковлева[1], в первую империалистическую войну Льеж держался 12 дней, Намюр — 6 дней, Мобеж — 10 дней, Антверпен — 10 дней. Форт-застава Манонвилье сдался после 54-часового обстрела орудиями крупного калибра. Крепость Ковно держалась 10 дней, Новогеоргиевск — только 9 дней после того, как было завершено полное обложение крепости.

Конечно, такое быстрое падение крепостей нельзя всецело приписать сокрушительному действию огня артиллерии, но этот огонь имел несомненно важнейшее значение.

Важное, решающее значение артиллерии в боях покупалось, однако, ценой большого напряжения сил и средств. На полях сражений приходилось сосредоточивать колоссальные артиллерийские средства, как это видно из таблицы 5.

[1] Проф. Яковлев, Эволюция долговременных фортификаций, 1931, стр. 278.

Таблица 5

Число орудий, принимавших участие в некоторых сражениях первой империалистической войны 1914—1918 гг. на стороне французов

Место сражения и дата	Длина фронта в *км*	Число орудий			Число траншейных орудий	
		легких	тяжелых	на 1 *км* фронта	общее	на 1 *км* фронта
Шампань, 25 сентября 1915 г. .	35	1 100	872	56	—	—
Шампань, 25 октября 1915 г. .	15	500	400	60	—	—
Сомма, 7 ноября 1916 г. . . .	15	444	645	72	360	24
Эн, апрель 1917 г.	40	2 000	1 947	99	1 650	41
Фландрия, июль 1917 г. . .	4	240	373	153	—	—
Верден, август 1917 г.	17	948	1 384	137	247	15
Мальмезон, октябрь 1917 г. .	10	624	984	161	270	27
Шато-Тьерри — Суассон, 8 августа 1918 г.	18	864	709	87	147	8
Амьен, 8 августа 1918 г. . . .	35	780	836	46	—	—
Шампань, сентябрь 1918 г. . .	25	1 332	1 226	102	—	—

Сосредоточение такой массы артиллерийских орудий с огромными количествами боеприпасов и приборов для стрельбы, наблюдения и разведки требует огромного напряжения всех сил и средств не только армии, но и транспорта, промышленности, всего тыла, всей страны. Воюют не только армии, но и страны в целом. Для иллюстрации этого приведем несколько показательных цифр.

„Среди материальных средств минувшей войны огромный удельный вес занимала артиллерия. Достаточно указать, что к началу войны армии имели 20 000 артиллерийских орудий, а к концу войны—свыше 60 000. Расход артиллерийских снарядов за время войны превысил 1 миллиард выстрелов общей стоимостью свыше 50 миллиардов рублей. Расходы французской армии на артиллерию и снаряды составили в среднем 20% всех расходов на армию и до 40% расходов на материальное снабжение фронта“ [1].

Артиллерия развивалась не только численно, но и качественно, постепенно усложняясь и охватывая все новые и новые отрасли. Если еще не так давно артиллерийская система состояла из орудия, заряда и снаряда, то в настоящее время необходимо, кроме того, сложное оборудование для разведки, наблюдения и направления орудия на цель, а также для связи между отдельными частями батареи (огневые позиции, наблюдательные пункты, отделения питания). Все эти средства, да и само орудие, постоянно изменяются соответственно видам и родам целей, соответственно условиям стрельбы и прогрессу техники и науки.

Все это приводит к большому числу родов, видов и типов всех предметов артиллерии: орудий, снарядов, трубок к ним, средств сообщения огня зарядам, порохов, ВВ и различных приборов. Если 60—65 лет назад стволы и затворы всех орудий конструировались довольно однотипно, то теперь каждый вид орудия (по конструкции ствола и затвора) представляет собой особый, оригинальный образец. То же можно сказать и о других предметах артиллерийской системы.

Для решения сложных и разнообразных задач артиллерия применяет снаряды различного действия: ударные, фугасные, осколочные, химические (отравляющие), зажигательные, маскирующие, трассирующие (обозначающие траекторию), осветительные, агитационные, сигнальные (для связи), а также специальные снаряды по воздушным и подводным целям.

Снаряды снабжаются трубками и взрывателями, позволяющими раз-

[1] „Мировая война в цифрах“, Москва, 1934 г., стр. 28. (Цифры относятся к армиям западно-европейских государств.)

рыать снаряды в наивыгоднейших условиях: в полете, при соприкосновении с целью, после достаточного углубления в преграду и после ее пробития. Эти трубки и взрыватели представляют собой весьма сложные приборы, снабжаемые иногда часовыми механизмами (механические трубки).

Снаряжаются снаряды разнообразными веществами: взрывчатыми, отравляющими, дымовыми или разнообразными элементами, поражающими цель (пули, палочки, накидки и т. п.).

При помощи всех этих средств артиллерия может решать и действительно решает в бою самые разнообразные задачи, нейтрализуя, подавляя и разрушая самые различные цели.

Своим огнем артиллерия может вывести из строя такую слабую (в смысле сопротивления действию снарядов) цель, как человек, и такую прочную цель, как бетонное сооружение толщиной 2—3 *м*. Она может пробить броню из самой лучшей стали толщиной 400 *мм*. Для вывода из строя живых целей (человека, лошадей) достаточно, чтобы снаряд (поражающий элемент) имел живую силу в 8—10 *кгм*, распределяющуюся на возможно малую поверхность цели. Для пробития же брони приведенной толщины необходима энергия около 15 000 000 *кгм*. Такая амплитуда энергии снарядов или их поражающих элементов требуется от артиллерии. Этим объясняется разнообразие типов и видов орудий и снарядов к ним, состоящих на вооружении армий.

Как уже было отмечено выше, артиллерия входит в различные войсковые соединения, к каждому из которых предъявляются особые требования, так как их задачи существенно различаются.

Но не только в этом дело. Цели разнообразны и по положению, и по степени укрытия, и по степени их защищенности. Цели могут быть подвижные и неподвижные, открытые и закрытые. Движение целей может совершаться с различными скоростями, в различных направлениях. Все эти обстоятельства тоже вызывают необходимость разных типов и видов орудий, а также разнообразие в их конструкции.

Исходя из основного назначения артиллерии — содействовать другим родам войск в решении поставленных им боевых задач, к артиллерии предъявляется требование большой подвижности. Различают подвижность тактическую и оперативную. Под первой понимают способность артиллерии к быстрым передвижениям на данном боевом участке, а под второй — способность артиллерии к переброскам на большие расстояния (с одного фронта на другой) в кратчайший срок, что позволяет осуществить принцип внезапности, имеющий столь большое значение для успеха операции.

Благодаря пользованию железнодорожным и механическим транспортом артиллерия получила очень высокую степень подвижности, даже для орудий крупных калибров. Так, во время первой империалистической войны 18 орудий больших калибров на железнодорожных установках были переброшены с французского фронта на итальянский, за 1 300 *км*, в течение трех суток, и на утро четвертых суток эти орудия открыли огонь[1]. Суточный переход этих орудий составил около 400 *км*, тогда как при конной тяге величина суточного перехода колебалась около 30 *км*. Скорость движения при механической тяге достигает 60 *км/час*, средняя скорость — около 30 *км/час*; величина же дневного перехода равна 200—300 *км*. При конной тяге максимальная скорость — 12 *км/час*, а средняя — 6 *км/час*.

5. Виды артиллерии

В настоящее время артиллерию обычно подразделяют на следующие основные виды. По своему предназначению, калибру, дальности и мощности огня артиллерия делится на легкую, тяжелую, большой

[1] Эрр, Артиллерия в прошлом, настоящем и будущем, 1924 г.

мощности и специальную — противотанковую и зенитную. По своей организационной принадлежности артиллерия составляет: батальонную, полковую, дивизионную, корпусную и артиллерию резерва главного командования (АРГК).

В БУА-37, ч. II дается еще следующее подразделение артиллерии (ст. 6): „По способу передвижения артиллерия может быть: конной тяги, вьючной, автомобильной, тракторной (возимая и прицепная), самоходной и на железнодорожных установках".

К этому следует добавить, что имеется еще специальная артиллерия для вооружения танков, самолетов, береговых батарей и судов речного и морского флота.

На вооружении стрелковых частей имеются минометы и гранатометы, представляющие собой орудия сопровождения пехоты. Их вместе с бомбометами, применявшимися во время первой империалистической войны, раньше объединяли под общим названием траншейной артиллерии.

6. Типы орудий

Каждый из перечисленных выше видов артиллерии имеет на своем вооружении не один тип орудий, а несколько, обычно два: а) пушки — для прицельной, настильной стрельбы по открытым целям, по движущимся целям и по целям, расположенным на больших расстояниях, и б) гаубицы — для навесной стрельбы по укрытым целям, по оборонительным сооружениям, а также и по открытым целям.

Кроме этих типов имеются мортиры, в которых свойство гаубиц доведено до предела (мортиры имеют очень крутую траекторию), и минометы для ведения навесного огня на небольшие расстояния.

Таким образом, артиллерийские орудия разделяются на три типа:

1) пушки,
2) гаубицы и
3) мортиры.

Такое разделение сложилось исторически. Ранее пушками называли орудия, отличавшиеся от прочих видов артиллерийских орудий (собственно, стволов) каналом, цилиндрическим по всей его длине. Пушки представляли собой бескаморные орудия, имевшие длину от 16 до 22 калибров. Впрочем, под словом „пушка" нередко понимали вообще орудие (ствол). На Руси, например, различали верховые пушки, по сути дела являвшиеся мортирами.

В настоящее время под пушками понимают орудия для прицельной, настильной стрельбы, при которой траектория возможно меньше отходит от линии, соединяющей орудие с целью (принимаемые за точки), от так называемой линии цели. Не исключена стрельба из пушек и с крутыми траекториями, например для поражения весьма удаленных целей.

Гаубицами называли в старину орудия, предназначавшиеся для стрельбы разрывными снарядами и дробом, т. е. кусками камней и железа или гвоздями. Из пушек стрелять разрывными снарядами (гранатами и бомбами) вследствие большого давления в канале ствола было рискованно. Гаубицы представляли собой орудия с каналом небольшой длины и каморой малого диаметра. Из гаубиц нередко стреляли переменными зарядами.

В настоящее время под гаубицами понимают орудия, назначаемые для навесной стрельбы. Это достигается подбором заряда (начальной скорости) для получения траектории с требуемым углом падения на заданную дальность стрельбы. Вследствие этого из гаубиц стреляют, в отличие от пушек того же калибра, малыми зарядами, а потому у них камора и гильза имеют относительно меньшую длину. В гаубицах максимальное давление в канале ствола значительно меньше, чем у пушек. По этим причинам гаубицы легче пушек, стволы их короче, а их сна-

ряды более могущественны и содержат больший разрывной заряд. Вследствие этого выстрел гаубицы более экономичен.

Мортирами называют орудия, назначаемые исключительно для навесной стрельбы, при больших углах возвышения. Из мортир в старину вели стрельбу лишь при трех определенных углах возвышения: 30°, 45° и 60°, или только при двух последних. Для получения любой дальности в пределах досягаемости при данном угле изменяли заряд. В настоящее время по такому же принципу часто ведут стрельбу из минометов, почему их, не без основания, называют иногда мортирами.

Характеристики перечисленных типов орудий приведены в таблице 6.

Таблица 6

Название орудия	Отношение веса ствола к весу снаряда	Относительная длина ствола в калибрах	Начальная скорость снаряда в *м/сек*	Полезная нагрузка снаряда (ВВ в %)	Примечание
Пушка . .	60—150	40—60	650—1 000	16—12	1. В артиллерии в некоторых случаях за единицу измерения принимают вес снаряда (q) и калибр (d).
Гаубица . .	25—80	15—35	400—650	Около 25	
Мортира .	15—40	8—12	250—400	„ 25	2. Здесь имеются в виду не минометы, а именно мортиры, которые, однако, в настоящее время почти не имеют распространения.

Приведенные в таблице характеристики не следует, однако, рассматривать как нечто категорическое, императивное, и их никоим образом нельзя положить в основу деления орудий на типы. Основой является назначение орудия, как изложено выше, а эти характеристики являются лишь следствием боевых требований. Так, во всех армиях имеются горные пушки с коротким стволом (не более 16—20 калибров), но их всегда называют пушками, так как они назначаются для действия по открытым и подвижным целям, по возможно отлогой траектории. С другой стороны, имеется тенденция увеличивать длину стволов гаубиц для увеличения их начальной скорости и дальнобойности. Наоборот, для стрельбы из пушек иногда стремятся ввести переменные заряды для ведения навесного огня. Этим также преследуется цель получить бо́льшую живучесть стволов[1].

Разрабатываются также орудия и двоякого назначения: пушки-гаубицы.

Может возникнуть вопрос: нельзя ли обойтись одним типом орудий — либо пушками, либо только гаубицами? На этот вопрос приходится ответить отрицательно.

[1] В иностранной артиллерии применяется другое деление орудий на типы. Например, во Франции различают пушки короткие и длинные. В старой русской артиллерии до конца прошлого века существовало деление пушек на тяжелые, облегченные и легкие. Два последних вида соответствовали коротким пушкам французской артиллерии. Это деление основывалось на следующем. Тяжелые пушки назначались для ведения дальнего огня (бомбардирования), а облегченные и легкие — для борьбы с артиллерией противника и для ведения перекидного огня, с целью разрушения эскарпов (вертикальных стен в крепостных сооружениях, прикрытых спереди). С изменением профиля укреплений и широкого распространения мощных взрывчатых веществ для снаряжения снарядов, облегченные и легкие пушки вышли из употребления. В начале текущего столетия им на смену всюду стали вводить гаубицы.

При всех упомянутых выше выгодах гаубицы при одинаковом калибре уступают пушкам в дальнобойности, а часто и в скорострельности.

Со времени первой империалистической войны имеется тенденция к увеличению числа гаубиц в составе артиллерии. Например, французская армия к началу империалистической войны совершенно не имела гаубиц в составе своей дивизионной артиллерии, а в других видах ее артиллерии процент гаубиц был незначителен. Почти то же можно сказать и о составе орудий русской артиллерии. В настоящее время процент гаубиц всюду резко увеличен, и проводится идея гаубизации пушек путем введения в состав их боевых комплектов переменных зарядов и увеличения углов возвышения.

Число орудий различных типов, состоявших к началу первой империалистической войны на вооружении в армиях различных государств, приведено в таблице 7[1].

Таблица 7

Страны / Название орудий	Россия		Германия		Австрия		Франция	
	пушки	гаубицы	пушки	гаубицы	пушки	гаубицы	пушки	гаубицы
Пушки дивизионной артиллерии	5 480	—	6 894	—	1 788	—	3 840	—
Конные и горные пушки	798	—	198	—	272	—	120	—
Дивизионные гаубицы	—	512	—	900	—	792	—	—
Горные гаубицы	—	—	—	—	—	152	—	—
Итого	6 278	512	7 092	900	2 060	944	3 960	0
Процент гаубиц к общему числу орудий	—	8,1	—	12,6	—	45,8	—	0

В своем докладе на XVIII партийном съезде маршал Советского Союза товарищ Ворошилов сказал, что „рост гаубизации выражается к настоящему времени в 80%, а это значит, что наша артиллерия стала более эффективной, так как ее убойные свойства значительно повысились".

Во время первой империалистической войны также получили широкое распространение минометы как орудия ближнего боя.

Минометы отличаются большой простотой конструкции и малым весом системы. Характерной особенностью их является то, что из них стреляют невращающимся снарядом со стабилизатором (оперением), обеспечивающим правильный полет. Снаряды минометов — мины — вследствие малых давлений в канале ствола изготовляются тонкостенными, а потому они вмещают большой разрывной заряд (до 30% от веса мины).

Орудия ближнего боя всегда привлекали большое внимание, так как ближний бой (на дистанции действительного ружейного огня и ближе) является наиболее решительным видом боя. Между тем, по местным условиям, ружейный огонь не всегда может оказаться действительным. Ружья обладают настильной траекторией, и малейшие складки местности, даже пни и кочки, могут представлять надежное укрытие от ружейного огня. С другой стороны, в бою широко применяются различного рода оборонительные сооружения и препятствия (окопы, засеки, изгороди, проволочные заграждения), против которых ружейный огонь также недействителен. Эти обстоятельства привели к необходимости иметь

[1] Евгений Барсуков, Русская артиллерия в мировую войну, т. I, изд. 1937 г., стр. 56 и следующие.

орудия ближнего боя. В старину такими орудиями являлись, например, полупудовые мортиры, находившие широкое применение при осаде крепостей.

Перед первой империалистической войной, несмотря на опыт Русско-японской войны, подтвердивший необходимость в подобных орудиях, орудий ближнего боя не было. Одна лишь Германия имела 112 средних и 64 тяжелых миномета. Уже во время войны 1914—1918 гг. на вооружении находились гранатометы, бомбометы и минометы.

Бомбометами назывались орудия ближнего боя, примитивного устройства, стрелявшие снарядами типа артиллерийских, но также более простого устройства.

В настоящее время бомбометы не изготовляются. Минометы же получили широкое распространение не только как орудия ближнего боя, но и взамен крупнокалиберных орудий для разрушения сильных бетонных сооружений.

К концу первой империалистической войны имелось минометов[1]: во Франции —3 000, в Англии — 4 000, в Германии—30 000 и в Италии—8 000.

ГЛАВА II

ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К МАТЕРИАЛЬНОЙ ЧАСТИ АРТИЛЛЕРИИ

Из приведенного краткого очерка артиллерии вытекают требования к ее материальной части: орудиям, боеприпасам, приборам и всем другим предметам, входящим в широкое понятие „материальная часть артиллерии"[2].

Эти требования могут быть сведены в три крупные группы: боевые, служебные и экономические.

Каждая из этих групп требований распадается на ряд более мелких.

1. Боевые требования. Могущество

Под боевыми требованиями понимают требования, вытекающие из условий боевой работы орудия, уже установленного на огневой позиции.

Орудие должно быть могучим. Оно должно уничтожить, парализовать, прижать к земле, лишить боеспособности все и всякие цели.

Могущество артиллерии слагается из следующих свойств:

а) дальнобойность (высокобойность);
б) кучность боя;
в) меткость;
г) крутизна траектории;
д) скорострельность и
е) могущество снарядов.

Дальнобойность. За меру дальнобойности орудия принимают наибольшую горизонтальную дальность, на которую оно может доброситься свои снаряды при нормальных условиях стрельбы. Дальнобойность измеряется в метрах.

Для увеличения дальнобойности необходимо:

а) сообщать снаряду больший запас кинетической энергии, т. е. возможно больше увеличивать вес снаряда и его начальную скорость;

б) придавать снаряду форму, наиболее приспособленную для проникания в воздушную среду;

---

[1] „Мировая война в цифрах", стр. 31; см. также таблицу 2 настоящего труда. Кюльман (стр. 229) говорит, что у немцев во время войны число минометов доходило до 17 000.

[2] Обычно под словами „материальная часть артиллерии" понимают лишь орудия, передки, зарядные ящики и повозки, что, конечно, нельзя признать правильным.

в) сообщать снаряду правильный полет, чтобы он по крайней мере вылетал из канала ствола по направлению своей оси по возможности без колебаний и чтобы он получал надлежащее вращение вокруг нее; снаряд должен быть точно изготовлен, так, чтобы его центр тяжести находился на оси фигуры;

г) конструировать артиллерийскую систему так, чтобы стволу можно было придавать угол, отвечающий наибольшей дальности.

Угол наибольшей дальности для орудий обычного типа колеблется около 43°. Для сверхдальнобойных орудий, снаряд которых совершает часть своего пути в стратосфере (где можно считать воздух настолько разреженным, что его давление близко к нулю), угол наибольшей дальности около $52^1/_2°$.

Для действия по воздушным целям необходимо бросать снаряды в высоту, нужна „высокобойность". Для достижения высокобойности, помимо перечисленных требований, нужно иметь возможность придавать орудию угол возвышения до 90°.

Кучность боя орудия. Опыт показывает, что снаряды, выпущенные при соблюдении возможно одинаковых условий (заряды из пороха одинакового качества и одного веса, снаряды одинакового устройства, формы и веса, орудие одно и то же, однообразное заряжание и тщательная наводка), ложатся не в одной точке, а рассеиваются на большей или меньшей площади. Это явление, известное под названием рассеивания, происходит вследствие неизбежных, хотя бы и небольших, отступлений в перечисленных условиях.

Опыт показывает, что места (точки) падения отдельных снарядов группируются по следующему закону рассеивания:

1) Все снаряды падают внутри ограниченной площади, имеющей форму эллипса, иначе говоря, внутри эллипса рассеивания.

2) На площади эллипса рассеивания снаряды распределяются неравномерно: кучнее к центру эллипса и реже к его краям.

3) На площади эллипса рассеивания снаряды группируются симметрично.

Для успеха стрельбы необходимо, чтобы снаряды ложились кучнее, т. е. чтобы эллипс рассеивания имел возможно малую площадь.

За меру кучности принимают величину площади эллипса рассеивания. Чем меньше эта площадь, тем кучность больше, и обратно. Иногда о кучности судят по отношению срединного (вероятного) отклонения на наибольшей дальности к этой дальности.

Для увеличения кучности необходимы:

1) возможно более точная и однообразная отделка каналов стволов;

2) возможно более точная и однообразная отделка снарядов, а также однообразие их весов, положения центра тяжести и моментов инерции;

3) точная навеска боевых зарядов, однообразие состава пороха, формы и размеров его зерен, а также одинаковая температура зарядов;

4) однообразие условий заряжания: постоянное положение снаряда в каморе (патроннике) и одинаковая плотность заряжания;

5) устойчивое положение оси канала ствола, а следовательно, и всей системы при выстреле[1].

Меткость. Под меткостью понимают искусство стреляющего направить среднюю траекторию желаемым образом по отношению к цели.

Снаряды, описывая траектории, рассеиваются, образуя сноп траекторий (рис. 1). Если поставим на пути полета снарядов какие-либо экраны A, B, C, то на каждом из них получим эллипс рассеивания. Соединив центры эллипсов рассеивания, получим траекторию, занимающую относи-

[1] Здесь опущены вопросы однообразия наводки и точности установок на прицельных приспособлениях в предположении, что орудийный расчет работает исключительно четко.

тельно всех траекторий какое-то среднее положение. Эта воображаемая траектория и называется средней траекторией.

Так как около центра эллипса рассеивания снаряды ложатся наиболее кучно, то при прохождении средней траектории через середину цели на цель ляжет эта наиболее кучная, густая часть снопа траекторий и вероятность поражения цели при прочих равных условиях будет наибольшей. Отсюда следует, что для успеха стрельбы необходимо направлять среднюю траекторию так, чтобы она проходила через середину цели. Иногда, в зависимости от свойств снарядов и цели, выгодно бывает среднюю траекторию направить перед целью или за нею. Поэтому в формулировке понятия „меткость" и сказано: „искусство направить среднюю траекторию желаемым образом относительно цели".

В таблицах стрельбы даются все необходимые величины по известному расстоянию до цели (по горизонту). Данные таблиц стрельбы вычисляются при некоторых определенных нормальных условиях, а именно: местность горизонтальная; температура +15° С; влажность воздуха 50%; барометрическое давление 750 *мм* рт. ст., полный штиль, или скорость ветра 0 *м/сек*; снаряды и заряды нормальных весов, качеств и формы; условия заряжания нормальные; орудие исправное и т. п.

Для того чтобы направить среднюю траекторию, нужно знать точно положение цели относительно орудия (расстояние, направление и ее превышение над горизонтом орудия), а также отступления от перечисленных нормальных условий и степень влияния этих отступлений на полет снарядов в смысле изменения средней траектории.

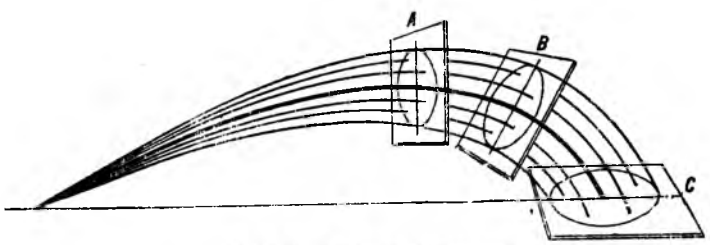


Рис. 1. Сноп траекторий

За промежуток времени, расходуемый на команду для выстрела, ее исполнение и полет снаряда, движущаяся цель перемещается. Это перемещение также нужно учесть путем ввода так называемого упреждения.

Величины всех перечисленных факторов и вызываемых ими изменений в полете снаряда определяются различными приборами: барометрами, термометрами, гигрометрами, анемометрами, шарами-зондами, дальномерами, высотомерами, приборами управления огнем и таблицами стрельбы. Все приборы должны давать показания быстро и точно.

Таким образом, для достижения большой меткости, помимо владения искусством стрельбы, необходимы различные приборы и умелое их использование.

Крутизна траекторий. Цели бывают весьма разнообразными по своему положению на местности, а именно: вертикальные, горизонтальные, наклонные, открытые или закрытые.

Само собой разумеется, что для лучшего действия снаряд должен падать на цель по направлению своей оси, а последняя должна быть направлена по нормали к поверхности поражаемого объекта. Последнее условие сводится к тому, чтобы касательная к траектории в точке падения на цель была направлена по нормали к поверхности цели. Совпадение оси снаряда с касательной к траектории достигается благодаря вращательному движению снаряда.

Для стрельбы по открытым целям необходимо иметь траекторию, которая приближалась бы к прямой, соединяющей орудие и цель, т. е.

угол падения (угол встречи) должен быть близок к нулю. При стрельбе по горизонтальным целям необходима траектория, имеющая большой угол падения, равный 90° или близкий к нему. При ведении огня по другим целям угол должен подбираться соответственно их положению; например, для обстрела закрытой цели траектория должна быть направлена возможно ближе к нормали к поверхности цели, но в то же время миновать закрытие.

Из сказанного следует, что при стрельбе каждый раз требуется определенный угол падения снаряда, почему этот угол и принимают за меру крутизны.

Соответственно углам падения (видам траекторий) различают два вида стрельбы:

а) прицельную стрельбу, которую ведут при небольших углах прицеливания и падения (стремятся получить траекторию возможно ближе к прямой), и

б) навесную стрельбу, которую ведут при сравнительно больших углах возвышения и падения (траекторию выбирают в зависимости от дальности и желаемого угла падения).

Для ведения прицельной стрельбы требуются большие начальные скорости снаряда. Для этого предназначаются, как уже было сказано, пушки.

При навесной стрельбе для достижения заданной дальности снаряда, при заданном угле его падения, приходится менять заряд. Это и является характерной особенностью навесной стрельбы, для выполнения которой особенно приспособлены гаубицы.

Скорострельность. Различают: а) техническую скорострельность, под которой понимают наибольшее число выстрелов в 1 минуту, допускаемое орудием при наивыгоднейших условиях заряжания орудия и производства выстрелов, и б) просто скорострельность—наибольшее число выстрелов в 1 минуту, допускаемое данным орудием при данных условиях ведения огня [1].

Для обеспечения наибольшей технической скорострельности необходимо такое устройство всей материальной части артиллерии, чтобы работа со всеми ее элементами и механизмами могла производиться быстро, сноровисто и легко; например быстрое открывание затворов стволов, быстрая работа механизмов наводки и надлежащая скорость наводки, простая и скорая подготовка снарядов и зарядов к заряжанию, быстрая и точная работа приборов. Для повышения скорострельности необходимо всемерно облегчать работу орудийного расчета путем механизации и автоматизации наиболее трудоемких работ и действий, требующих особой быстроты или точности работы, например по отсчету установок, учету поправок и т. п.

Вопрос о могуществе снарядов будет рассмотрен в разделе „Боеприпасы артиллерии".

2. Живучесть

Под живучестью материальной части артиллерии (в широком понимании этих слов) подразумевают такое ее устройство, при котором она действовала бы безотказно и была бы в состоянии постоянной готовности к действию. Живучесть материальной части обеспечивается:

а) прочностью конструкции;
б) неуязвимостью;
в) приспособляемостью;
г) уходом;
д) режимом;
е) питанием.

[1] „Артиллерийская терминология", вып. 1, Воениздат, 1939, стр. 45.

Прочность конструкции. Вся материальная часть артиллерии должна быть приспособлена к быстрым переброскам с места на место. Во время этих переброс и переездов она подвергается сотрясениям, толчкам и ударам. Кроме того, материальная часть подвергается воздействию выстрела и самых неблагоприятных атмосферных условий (дождь, снег, град, ветер, несущий пыль и песок, и др.). Материальная часть изнашивается быстрее при неумелом обращении с ней. Наконец, не следует забывать, что ей приходится действовать в условиях обстрела противником. Несмотря на все эти неблагоприятные обстоятельства, материальная часть артиллерии должна работать безотказно.

Прочность конструкции достигается рациональным расчетом всех ее деталей, основанным на тщательном изучении условий службы и боевой работы данного элемента, и выбором надлежащего материала. Для этого необходимо, кроме того, глубокое знание теории устройства материальной части и ее технологии. При конструировании следует предусмотреть возможные изменения условий службы и особые случаи, могущие вызвать увеличение нагрузок против нормальных.

Неуязвимость. Под неуязвимостью артиллерийской системы подразумевают способность ее переносить без повреждения особые и чрезвычайные случаи. К средствам, увеличивающим неуязвимость систем, относится защита хрупких, наиболее уязвимых механизмов и их деталей от ударов, засорения и т. п. К этим средствам можно также отнести рациональное снабжение, в установленных количествах и видах, запасными частями. При этом запасные части и их число должны быть выбраны рационально, на основании опыта, чтобы не перегружать ими войсковые части. Устройством закрытий для отдельных механизмов, щитовых закрытий и башен для всего орудия достигается большая неуязвимость [1].

Приспособляемость. Приспособляемость системы можно рассматривать с двух точек зрения:

1) с точки зрения устойчивости ее на местности, обеспечивающей надлежащее распределение нагрузок, и

2) с точки зрения ее маскировки.

Лафеты и основания приборов, имеющие три точки опоры — два колеса и хобот или треноги,— всегда устойчивы, так как три точки вполне определяют положение плоскости. Установки, имеющие четыре и более точек опоры, как это бывает у лафетов с откидными лапами или раздвижными станинами, не обладают устойчивостью, так как три точки будут покоиться на основании, а остальные могут оказаться навесу. В этом случае приходится вводить в систему специальные выравнивающие механизмы, благодаря которым достигается надежное положение и остальных точек (лап, станин).

С точки зрения маскировки полезно делать систему более низкой, малозаметной. В некоторых приборах стремятся применять принцип перископичности.

Уход. Уход за артиллерийской системой и вообще за всей материальной частью имеет первостепенное значение. Во всех руководствах и наставлениях настойчиво подчеркивается важность правильного ухода с точки зрения кивучести системы. Французы говорят: „Хорошо содержимое орудие стоит двух". Особенно нужно оберегать материальную часть от коррозии.

Режим. Правильное использование материальной части, без ее перенапряжения, способствует сохранению ее в исправном состоянии, а значит, и постоянной боевой готовности. При правильном режиме огня срок службы материальной части увеличивается.

---

[1] Щиты артиллерийских орудий предназначаются для укрытия личного состава, но вместе с тем они защищают и систему.

В книге „Мировая война в цифрах", на стр. 36, приводится убыль стволов дивизионных орудий германской артиллерии от разных причин. За 10 месяцев 1918 г. убыло:

вследствие износа	4 592,	или 45,9%	всего числа потерь
„ разрывов . .	1 060	„ 10,6%	„ „ „
от огня противника . . .	1 939	„ 19,4%	„ „ „
захвачено противником . .	2 419	„ 24,1%	„ „ „
	10 010	100,0%	

Степень износа стволов зависит от рациональности устройства их и боевых припасов, а также от правильности эксплоатации орудий, приборов и механизмов и ухода за ними. Разрывы орудий происходят в результате анормальных условий заряжания, дефектов в конструкциях стволов, снарядов, трубок и взрывателей и других причин. Большое значение имеет также и режим огня.

Конструкторы стволов, снарядов, пороха и других элементов должны обращать внимание не только на действие орудия и боевых припасов, но и на их живучесть. Командный состав должен добиваться наилучшего ухода и правильной эксплоатации материальной части артиллерии.

Обеспечение питания боеприпасами. Для того чтобы артиллерия могла открыть огонь по первому требованию, необходимо, кроме готовности и исправности материальной части, иметь наготове в достаточном количестве боеприпасы: снаряды, заряды, средства воспламенения и другие элементы.

Снабжение боеприпасами на поле боя составляет одну из труднейших задач, так как дневной расход выстрелов обычно весит значительно больше, чем вся система в боевом положении. Артиллерийскую систему легко доставить и установить на огневой позиции (одна-две повозки, быстро собирающиеся и устанавливающиеся), в то время как боеприпасы представляют собой груз, который состоит из большого числа отдельных мест, мало приспособленных для перевозки и переноски, груз, требующий особо бережного и осторожного обращения с ним. Все это дает понятие о тех трудностях, с которыми приходится встречаться при организации и осуществлении питания артиллерии боеприпасами.

3. Подвижность

Различают подвижность четырех видов:

1) маневренность;

2) проходимость;

3) скорость перехода из походного положения в боевое и обратно;

4) гибкость огня.

Маневренность. Этот вид подвижности относится ко всей материальной части артиллерии. Под маневренностью понимается способность артиллерии к быстрым передвижениям как на поле боя (тактическая подвижность), так и при переброске на соседние фронты (оперативная подвижность). С широким применением механической тяги и железнодорожного транспорта материальная часть приобрела, как было указано выше, высокую подвижность. Благодаря этому артиллерия может осуществлять принцип внезапности, имеющий столь важное значение в бою.

Для повышения маневренной подвижности следует уменьшать в пределах возможности вес системы, уменьшать всякое сопротивление движению, как например трение на осях, и вводить подрессоривание.

Проходимость. Под проходимостью понимают способность повозки двигаться по всякой местности, преодолевать различного рода препятствия (рвы, канавы, насыпи, пни, камни, уклоны и пр.) без повреждения и по возможности легко.

Скорость перехода из походного положения в боевое и обратно. Для боя необходимо перевести артиллерийскую систему из походного положения в боевое. Системы дивизионной артиллерии и более мелких войсковых подразделений должны обладать наивысшей скоростью „перехода". Чаще всего этот „переход" совершается в течение примерно $^1/_2$ минуты. В системах корпусной артиллерии „переход" совершается в течение 10—15 минут, а в тяжелых системах АРГК — от 20 минут до $1^1/_2$—2 часов, в зависимости от калибра, веса системы и вида их в движении (одна, две, три и более повозок).

Гибкость огня. Различают: а) гибкость огня в пространстве, под которой понимают способность быстро и точно переносить огонь, и б) гибкость огня во времени, под которой понимают способность изменять скорость или темп огня в пределах от нуля до наивысшей скорострельности. Многие автоматические системы не удовлетворяют этим условиям, так как при стрельбе из них невозможно изменять темп огня.

В отношении гибкости огня в пространстве артиллерия за последние 20—25 лет сделала большие успехи. Если за меру гибкости огня в пространстве принять покрываемую огнем орудия площадь, в пределах которой можно быстро и точно переносить огонь (пользуясь механизмами наводки), то эта площадь, например для дивизионной пушки, за указанный промежуток времени возросла более чем в 300 раз.

Гибкость огня во времени увеличилась в значительно меньшей степени. Скорострельность орудий малых калибров, до 50 *мм* включительно, возросла в 6—7 раз, у орудий калибра 75—100 *мм* она осталась без изменений, а у орудий более крупных калибров скорострельность почти не возросла.

Увеличение скорострельности орудий может быть достигнуто путем автоматизации, механизации и электрификации артиллерийских систем.

4. Служебные требования

В отношении любой машины требуется, чтобы обслуживание ее было безопасное, простое, удобное и неутомительное. Эти же требования, в более настоятельной форме, предъявляются и ко всем артиллерийским орудиям, боеприпасам и приборам артиллерии. Следует особо подчеркнуть требование безопасности, так как артиллеристам приходится иметь дело со взрывчатыми веществами, опасными в обращении.

Простота и удобство в обращении необходимы для того, чтобы работающий номер мог, например, занять удобное, устойчивое положение, чтобы рукоятки и маховики были расположены на соразмерной высоте, чтобы усилие на них требовалось не свыше 2—3 *кг* при установившемся движении и не свыше 7 *кг* при разгоне. Желаемый результат должен достигаться без большого числа оборотов рукояток, так как последнее приводит к быстрому утомлению номера даже при небольшом усилии.

Работа обслуживающего персонала значительно облегчается, как уже было указано, в результате механизации, электрификации и автоматизации артиллерийских систем.

Для упрощения работы личного состава желательно иметь различного рода предохранители и указатели неисправностей в механизмах, а также ввести механизмы взаимной замкнутости. Под последними понимают механизмы, не допускающие производства какого-либо действия, если не выполнено предшествующее, например, не допускающие закрытия затвора, пока не дослан снаряд или патрон.

Разборка и сборка тех механизмов, которые разрешается разбирать и собирать в боевой обстановке, должна совершаться просто, без применения инструментов, и только в крайнем случае при помощи простейших инструментов (универсальный ключ).

Для личного состава необходимо обеспечить место, на котором он мог бы расположиться совершенно свободно и удобно. Необходимо устранить всякую опасность ушибов или ранений орудийного расчета.

На некоторых деталях артиллерийских систем полезно делать надписи, указывающие, в какую сторону следует вращать рукоять для получения желаемого эффекта. Например, на маховике поворотного механизма желательно иметь надписи: „влево", „вправо" и т. п.

5. Экономические требования

Некоторое представление об огромных расходах на заготовку всего необходимого для артиллерии дают приведенные выше цифры. Начавшаяся вторая империалистическая война это подтверждает. Поэтому необходимо всемерно стремиться к удешевлению предметов вооружения, отнюдь не поступаясь при этом совершенством орудия, его боевой мощью, надежностью действия, безопасностью и другими качествами.

Для производства материальной части артиллерии необходимо иметь отечественную сырьевую базу. Все предметы артиллерийского снабжения армии должны изготовляться на отечественных заводах и по проектам, разработанным своими конструкторами. Это имеет не только экономическое, но и большое политическое значение.

Выбор материала. Нужно стремиться использовать материал не самого высшего качества, а удовлетворяющий требованиям прочности и надежности. Не следует, например, для изготовления рукояток и маховиков применять бронзу; для этого с успехом могут быть применены сталь и железо с накладками из дерева или пластмассы. Некоторые предметы изготовляются из разнородных материалов, которые нужно подбирать так, чтобы они не действовали отрицательно один на другой (например, жидкости в тормозах отката, взрывчатые вещества в снарядах и т. п.).

Внедрение новых методов и приемов изготовления. Безусловно заслуживает внимания внедрение новых методов и приемов изготовления, удешевляющих и ускоряющих производство, например: применение для изготовления орудийных стволов труб катаных или полученных при центробежном литье, применение автофретажа для изготовления стволов орудий, применение для нарезки стволов головок с большим числом резцов, внедрение электросварки, широкое применение протяжки, штамповки, литья и т. п.

Простота устройства как всего изделия в целом, так и его частей. Отдельные детали должны быть такого очертания и формы, чтобы их изготовление было простым, при малом числе переходов.

Взаимозаменяемость. Следует добиваться взаимозаменяемости не только отдельных деталей, но и целых механизмов. Например, затвор должен подходить ко всем орудиям данного образца.

Стандартизация. Под этим термином понимают применение для различных машин некоторых деталей определенных (стандартизированных) размеров. К таким деталям относятся: болты, заклепки, обушки, цепочки, масленки и т. п.

6. Характеристики артиллерийских систем

Большинство требований к артиллерийским системам выражается в каких-либо мерах. Например, дальнобойность измеряют в метрах, поворотливость системы — наибольшим углом в градусах, составленным между осями симметрии переднего и заднего ходов при повороте; измерительные приборы характеризуются точностью измерения, выражаемой вероятной ошибкой измерений; снаряды характеризуются производимым ими действием (объем в кубических метрах воронки, образуемой фугасным снарядом в преграде определенного качества) и т. п.

Эти характеристики чаще всего дают лишь одностороннее понятие о степени совершенства данного предмета.

Из общих характеристик укажем на следующие:

1) Коэфициент использования металла в стволе, под которым понимают отношение живой силы снаряда у дула $E_0 = \frac{qv_0^2}{2g}$ к весу ствола $Q_{ст}$ *кг*:

$$\alpha = \frac{E_0}{Q_{ст}} \text{ кгм/кг}.$$

Коэфициент α указывает на техническое совершенство данной конструкции, насколько умело и удачно при проектировании ствола удалось сочетать выбор пороха, условий заряжания, веса снаряда и конструкции ствола. В современных орудиях этот коэфициент достигает величины 300—350 *кгм* на 1 *кг* веса ствола.

2) Коэфициент использования металла в системе, под которым понимают отношение той же дульной энергии снаряда к весу системы в боевом положении $Q_б$ *кг*:

$$\eta = \frac{E_0}{Q_б} \text{ кгм/кг}.$$

В этом выражении, кроме перечисленных выше данных, учитывается также совершенство конструкции лафета, однако без учета многих важных характеристик последнего, как например углов обстрела.

3) Коэфициент достижения, под которым понимают отношение дальности полета снаряда к дальности, которую он имел бы при прочих равных условиях в безвоздушном пространстве. Этот коэфициент характеризует не только качества снаряда, но также и качество ствола, поскольку начальные условия движения снаряда определяются устройством ствола орудия.

Величина коэфициента достижения сильно колеблется в зависимости от выбранных условий. Даже при ограничении его вычисления максимальной дальностью, даваемой данным орудием, его значение колеблется в очень широких пределах. Коэфициент достижения имеет значение только при сравнении орудий, близких по их другим характеристикам.

4) Коэфициент дальности, под которым понимают отношение наибольшей дальности X к весу системы в боевом положении:

$$\eta_д = \frac{X}{Q_б} \text{ м/кг}.$$

Этот коэфициент указывает, сколько метров дальности приходится на каждый килограмм веса системы в боевом положении. Зная его для орудий какого-либо типа, можно по заданной дальности легко подсчитать $Q_б$ и обратно, а также судить о степени совершенства артиллерийской системы в целом.

Но как бы совершенна система ни была, она является только машиной. Могущество артиллерии будет ощутимо для врага лишь в умелых руках, в руках искусных бойцов, знающих в совершенстве материальную часть и умеющих ее применять, ухаживать за ней и готовить ее к бою. Самое совершенное орудие не даст должного эффекта в руках неумелого, неискусного личного состава.

7. Тенденции в развитии артиллерии

Артиллерия развивается главным образом в направлении повышения всех перечисленных требований. Пути дальнейшего развития артиллерии следующие:

1) Увеличение могущества орудия путем расположения на одной установке нескольких стволов (многоствольные орудия). Эта идея в стрелковом оружии находит широкое практическое применение в виде спаренных и счетверенных пулеметных установок. Для орудий больших калибров также широко распространены многоорудийные установки на кораблях флота (башенные установки). Предлагаются спаренные установки зенитных орудий. Такое решение выгодно в смысле уменьшения обслуживающего состава и вспомогательных приборов на одну систему.

2) Достижение универсальности. Поставленная боевая задача разрешается наиболее полно и хорошо орудием, специально предназначенным для решения именно этой задачи. Но так как число задач и их разнообразие чрезвычайно велики, то часто стремятся конструировать орудия, одинаково пригодные для решения нескольких задач.

Одним из таких вариантов являются пушки-гаубицы, которые по замыслу должны объединить два типа орудий в одном[1]. Проектов пушек-гаубиц имеется немало, но распространения они пока не получили.

Универсальность орудий для решения нескольких различных задач пытались осуществить путем создания многоствольных орудий, со стволами различных калибров и различных по их свойствам. Одним из вариантов этого решения можно считать укрепление на лафете казенника, в который можно вставлять по мере надобности стволы разных свойств и калибров. Сюда же могут быть отнесены и так называемые бикалиберные орудия, в которых на лафете возится ствол большого калибра, а при надобности внутрь его может быть вставлен ствол малого калибра.

Универсальность достигается также и конструированием универсальных пушек, предназначенных для стрельбы по зенитным и наземным целям.

Вопрос об универсальности решается и в направлении создания единых лафетов для пушек и гаубиц.

Кроме того, принцип универсальности стремятся осуществить в отношении боеприпасов, порохов и других элементов материальной части артиллерии, поскольку универсальность упрощает и делает более экономичным снабжение армии.

Пути развития артиллерии, которые были указаны ранее, а именно— увеличение дальнобойности и веса снаряда, улучшение направленности снаряда в полете и повышение скорострельности орудий, являются и теперь руководящими при разработке вооружения. Со времени первой империалистической войны все эти пути приобрели особое значение.

В особенности приобрели значение вопросы повышения скорострельности, увеличения угла обстрела и увеличения скоростей наводки. Последние два вопроса разрешены в новейших системах. Что касается скорострельности орудий, то эту проблему пытаются решить, по аналогии со стрелковым оружием, путем применения автоматики. В этом отношении имеются большие достижения в орудиях малого калибра (до 50 *мм*). В орудиях же более крупного калибра (свыше 50 *мм*) вследствие технических трудностей пока приходится ограничиваться введением полуавтоматики.

В связи с необходимостью артиллерийского вооружения самолетов встал вопрос о разработке безоткатных орудий. В этом направлении были внесены различные предложения, а именно:

а) реактивные снаряды, построенные по принципу ракет;

б) орудия, стреляющие одновременно в обе стороны[2]— в сторону противника боевым снарядом, а в противоположную — фиктивным, рассыпающимся по вылете из канала ствола;

---

[1] Эта задача успешно для своего времени была разрешена Шуваловым в 1752 г. в России и в середине прошлого столетия во Франции.

[2] Впервые такие орудия были предложены и испытаны в Англии в семидесятых годах прошлого столетия.

в) орудия с выпуском газов назад; в этом случае вместо фиктивного снаряда выбрасываются назад пороховые газы.

Во всех армиях мира изучаются и разрабатываются новые взрывчатые вещества большой разрушительной силы для снаряжения фугасных снарядов. К порохам предъявляют требование беспламенности при выстреле. В целях увеличения живучести орудий стремятся применить пороха с низкой температурой горения, а также пороха, дающие низкие давления, равномерно распределенные по всей длине канала, т. е. пороха прогрессивного горения.

Капсюли, служащие для возбуждения реакций превращения взрывчатых веществ, не должны давать неожиданных взрывов, но вместе с тем они должны быть достаточно чувствительными и безотказными.

Живучесть ствола также стремятся увеличить путем усовершенствования ведущих частей снарядов (ведущего пояска и центрующего утолщения). Производятся также изыскания в области усовершенствования снарядов для достижения большей кучности, поскольку она зависит от снаряда.

В литературе встречается немало предложений в отношении замены пороха как источника энергии для движения снаряда другими источниками, например электричеством, паром, сжатым воздухом и, наконец, использованием центробежной силы. Однако эти источники энергии пока не могут конкурировать с порохом.

ОТДЕЛ ВТОРОЙ

ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ПОРОХА

★

ГЛАВА I

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВАХ

1. Явление взрыва и его характеристика

Артиллерия как огнестрельное оружие берет свое начало с момента открытия пороха, точнее, с того времени, когда была найдена возможность использования энергии взрыва для совершения полезной работы метания снаряда. Позднее, с изобретением снаряда с разрывным зарядом, артиллерия получила возможность использовать энергию взрыва также для поражения и разрушения целей.

Теория взрывчатых веществ определяет сущность явления взрыва следующим образом: „Взрыв, в самом широком смысле этого слова, есть чрезвычайно быстрое физическое или химическое изменение вещества, сопровождающееся столь же быстрым превращением потенциальной энергии его в механическую работу движения или разрушения окружающей среды“ [1]. Эта работа вызывается резким повышением давления в среде, окружающей место взрыва. Скачок давления является самой существенной чертой взрыва.

Как видно из этого определения, явление взрыва может быть вызвано причинами физического и химического порядка.

Примерами взрывов, вызванных физическими причинами, могут служить взрывы паровых котлов при сильном перегреве воды или взрывы баллонов со сжатыми газами в результате быстрого повышения давления газов внутри баллонов или понижения прочности стенок последних.

В артиллерии используются только взрывы, вызываемые причинами химического порядка, т. е. взрывы особых веществ, называемых взрывчатыми.

Взрывчатые вещества (ВВ) представляют собой неустойчивые системы, способные под влиянием незначительных внешних воздействий к очень быстрым химическим превращениям. Процесс чрезвычайно быстрого превращения взрывчатых веществ в другие, более устойчивые вещества сопровождается выделением тепла и сильно нагретых газов, способных произвести работу.

Три основных фактора характеризуют явление взрыва, а именно:

1) быстрота перехода начальной системы в конечную систему продуктов превращения;

2) газообразование, т. е. наличие среди продуктов взрывчатого превращения достаточного количества газов или веществ, находящихся при температурных условиях взрыва в парообразном состоянии;

---

[1] К. К. Снитко, Курс теории взрывчатых веществ, ч. 1, 1936 г.

3) экзотермичность[1] процесса, т. е. выделение тепла при реакции взрывчатого превращения.

Длительность процесса превращения практически применяемых количеств взрывчатых веществ измеряется промежутками времени от сотых до миллионных долей секунды. Так например, заряд бездымного пороха 305-*мм* пушки сгорает примерно за 0,03 секунды, а заряд 122-*мм* гаубицы — за 0,008 секунды. ВВ, идущие на снаряжение боеприпасов или для производства подрывных работ, взрывают в еще более короткие промежутки времени. Так, 1 *кг* динамита взрывает в течение всего лишь 0,00002 секунды, а подрывная шашка весом 400 *г* — в 0,00001 секунды. Именно этим объясняется огромная, по сравнению с другими источниками энергии, мощность взрывчатых веществ, хотя общие запасы энергии у них не больше, а в некоторых случаях даже меньше, чем у обычных горючих веществ.

О мощности ВВ можно получить представление хотя бы по тому, что 1 *кг* динамита, взрывая в течение указанного выше времени, производит работу в 300 млн. *л. с.* Даже такое относительно слабое ВВ, как дымный порох, способно при взрыве 1 *кг* его произвести работу, соответствующую работе машины в 25 млн. *л. с.*

Выделяющееся при взрыве тепло создает температурные условия, обеспечивающие надлежащую быстроту взрывной реакции и прогрессивное ее ускорение[2]. Вместе с тем тепло повышает упругость газообразных продуктов взрыва до величины, обеспечивающей в месте взрыва высокое давление.

Условия кратковременности и экзотермичности реакции еще недостаточны для того, чтобы процесс носил характер взрыва. Необходимо, чтобы реакция сопровождалась выделением газообразных продуктов. Именно эти газообразные продукты, сильно нагретые и быстро расширяющиеся, являются теми физическими агентами, которые превращают тепловую энергию в механическую работу[3].

Количество выделяющихся при взрыве газов измеряется объемом, который они занимали бы при 0° и давлении 760 *мм* рт. ст. Это количество для различных ВВ выражается приблизительно следующими цифрами:

	Литров на 1 *кг* ВВ	Литров на 1 *л* ВВ
Дымный порох	280	336
Пироксилин	765	994
Нитроглицерин	715	1 144
Пикриновая кислота	675	1 141
Тротил	690	1 104

Таким образом, при взрыве 1 *л* наиболее распространенных взрывчатых веществ образуется примерно 1 000 *л* газообразных продуктов.

2. Виды взрывчатых превращений: быстрое сгорание, взрыв и детонация

Перечисленные выше факторы, характеризующие явление взрыва, могут иметь разные численные значения для различных ВВ, и даже для одного и того же ВВ они, в зависимости от условий, при которых протекает взрыв, могут колебаться, например:

---

[1] В химии называют реакции, сопровождающиеся выделением тепла, экзотермическими, а реакции, сопровождающиеся поглощением тепла, — эндотермическими.

[2] Как известно из общей химии, повышение температуры участвующих в реакции компонентов на 10° ускоряет ход реакции в два—четыре раза. Отсюда можно заключить, какова скорость реакции взрыва, протекающей при температурах порядка 2 000—4 000° С.

[3] Это положение можно иллюстрировать примером реакции горения термита, представляющего собой смесь порошкообразного алюминия и окиси железа:

$$2Al + Fe_2O_3 = Al_2O_3 + 2Fe + 198\ Кал.$$

В результате этой реакции взрыва не происходит, несмотря на ее кратковременность и экзотермичность, именно потому, что в продуктах реакции нет газов.

а) объем газообразных продуктов взрыва колеблется для 1 *кг* различных ВВ примерно в три-четыре раза;

б) количество выделяющегося при взрыве тепла колеблется для 1 *кг* различных ВВ примерно в пять раз;

в) продолжительность взрыва может колебаться для 1 *кг* различных ВВ по крайней мере в тысячу раз (от сотых до стотысячных долей секунды).

В связи с количественным изменением этих факторов, в особенности последнего, т. е. скорости взрывчатаго разложения, изменяется и качественная сторона явления.

По скорости взрывчатого разложения различают: а) вспышку, или быстрое сгорание, б) собственно взрыв и в) детонацию, происходящую с наибольшей скоростью и потому сопровождающуюся максимальным разрушительным действием.

Вспышкой, или быстрым сгоранием взрывчатого вещества, обычно называют процесс, скорость распространения которого по массе ВВ не превышает нескольких метров в секунду, а иногда даже долей метра в секунду. Характер действия в этом случае — более или менее быстрое нарастание давления газов и производство ими работы разбрасывания или метания окружающих тел. Если процесс быстрого сгорания происходит на открытом воздухе, то он обычно не сопровождается сколько-нибудь значительным звуковым эффектом.

Примером такой формы разложения ВВ может служить сгорание на открытом воздухе бездымного пороха, сгорание небольших количеств влажного пироксилина или тротила без оболочки при возбуждении их прямым нагреванием. При сжигании же больших количеств этих веществ могут иметь место прогрессивное увеличение скорости разложения и переход быстрого сгорания в другую форму разложения — взрыв. Сказанное особенно относится к пироксилину и тротилу. Пороха в закрытом объеме, например в зарядной каморе орудия, также разлагаются значительно более энергично, чем на открытом воздухе, причем горение в этом случае сопровождается резким звуком. Это — типичная форма разложения в форме быстрого сгорания.

Взрыв, называемый иногда обыкновенным взрывом или взрывом второго рода, — это процесс, который может протекать с переменной скоростью, но значительно большей, чем в первом случае, в среднем со скоростью сотен метров в секунду.

Характер действия ВВ, разлагающегося в этой форме, — резкий подъем давления в месте взрыва, удар газов по окружающей среде и производство ими работы раскалывания и дробления преграды на сравнительно незначительных расстояниях от места взрыва.

Примером этой формы может служить вызванный лучом огня взрыв прессованного пироксилина в оболочке, протекающий со скоростью порядка нескольких сотен метров в секунду.

Наконец, детонацией или взрывом первого рода называют процесс, который распространяется по массе вещества с постоянной и притом максимальной возможной при определенных условиях скоростью, измеряемой обычно тысячами метров в секунду; например, скорость детонации прессованного тротилового заряда плотностью 1,5 составляет около 6 700 *м/сек.*

Характер действия при детонации — особенно резкий скачок давления и удар газов, сопровождающийся максимальным для данных условий разрушительным эффектом. Здесь имеет место не раскалывание, а дробление преграды на мелкие куски и пыль.

Разложение в форме детонации может быть достигнуто для всех практически применяющихся ВВ при возбуждении разложения внешним воздействием (начальным импульсом) соответствующей мощности и если при этом имеются благоприятные условия для развития и сохранения высоких скоростей разложения по массе ВВ.

В сущности обыкновенный взрыв можно рассматривать как неразвившуюся детонацию и, наоборот, детонацию считать высшей формой развития взрыва.

На практике иногда случается, что при взрыве разложение не распространяется на всю массу взятого заряда и часть его остается неразложенной; такое явление называется неполным взрывом (разрушительный эффект такого взрыва значительно слабее, чем при полном взрыве). В таких случаях невзорвавшаяся часть вещества, распыляясь, окрашивает продукты разложения в свойственный данному веществу цвет. Например, тротил при полном взрыве дает черное облако дыма вследствие выделения углерода; при неполном же взрыве он дает облако дыма смешанных, черного и желтого, цветов.

Явление неполного взрыва объясняется затуханием детонации вследствие наличия каких-либо неблагоприятных условий для распространения разложения по массе ВВ. Это явление не следует смешивать с охарактеризованными выше формами взрывчатого разложения.

3. Взрывчатые вещества

Взрывчатыми веществами называются такие химические системы (определенные химические соединения или механические смеси), которые, обладая запасом химической энергии, способны под влиянием внешнего воздействия (начального импульса) к быстрому переходу в газообразные продукты разложения с одновременным превращением своей химической энергии в энергию тепловую.

Взрывчатые вещества могут быть охарактеризованы как неустойчивые химические системы, стремящиеся к переходу к устойчивому состоянию, т. е. к продуктам их разложения, обладающим достаточной устойчивостью.

В нормальных температурных условиях процесс распада неустойчивых систем (перехода их в устойчивые продукты разложения) происходит с весьма малой скоростью, позволяющей считать эти неустойчивые системы практически неизменными. При повышении же температуры воздействием какого-либо внешнего фактора (нагревание, удар) скорость перехода ВВ в устойчивое состояние возрастает чрезвычайно резко. Этот переход совершается тем быстрее, чем выше температура.

Чем менее устойчива данная взрывчатая система, тем большей чувствительностью она обладает ко всякого рода внешним влияниям и, следовательно, тем меньшее внешнее воздействие (начальный импульс) необходимо для вызова начала взрывчатого разложения.

Что касается самых путей этого перехода — взрывных реакций, то их можно свести к двум основным типам:

1) разложение ВВ на элементы с разрушением непрочных молекул ВВ; таковы: разложение ацетилена, сернистого азота, озона, азидов и др.; этот тип реакции встречается сравнительно редко;

2) горение, или соединение горючих элементов с веществами, способными поддерживать горение. Наиболее типичными при этом являются реакции, при которых происходит соединение кислорода (главного окислительного агента) с горючими элементами: водородом, углеродом, серой и др. Во взрывчатых веществах, представляющих собой химические соединения, все эти элементы находятся в составе молекул вещества.

Большинство ВВ получают из сложных органических веществ, содержащих элементы, необходимые для горения (C, H, S и др.). В процессе изготовления ВВ в молекулу взятого органического вещества вводят кислородсодержащую группу элементов, например группу ONO_2 или NO_2, называемую нитрогруппой. Введение этих групп достигается сравнительно легко, путем обработки органического вещества азотной

кислотой. Образовавшееся таким образом азотистое соединение при взрыве легко отдает кислород группы ONO_2 или NO_2 горючим веществам — водороду и углероду, так как связь между азотом и кислородом слабее сродства последнего к углероду или водороду. Вследствие этого разложение таких соединений происходит легко, с образованием большого количества газов, представляющих продукты сгорания углерода и водорода и свободный азот. Притока кислорода извне при этом не требуется.

Кроме групп ONO_2 и NO_2, носителями кислорода являются группы $OClO_2$, $OClO_3$ и др.

ВВ — механические смеси образуются путем смешения горючих веществ с окислителями, обычно азотнокислыми солями (селитрами), а иногда с солями хлорноватой или хлорной кислот. Следовательно, и здесь кислород вводится через посредство азота селитры или групп $OClO_2$ и $OClO_3$.

Разумеется, ВВ — химические соединения более однородны по составу, чем механические смеси, поэтому их действие более однообразно[1].

Характер продуктов взрыва зависит от состава взрывчатого вещества и для органических веществ прежде всего от соотношения между количествами горючих элементов и кислорода. С этой точки зрения все взрывчатые вещества разделяются обычно на следующие группы:

1) Взрывчатые вещества с количеством кислорода, достаточным для полного сгорания горючих элементов (окисления водорода в воду и углерода в углекислый газ). В этом случае вовсе не образуется газов, способных к дальнейшему горению. Примером таких ВВ является нитроглицерин.

2) Взрывчатые вещества с количеством кислорода, недостаточным для полного сгорания, но достаточным для полного газообразования. Здесь наряду с водой H_2O и углекислым газом CO_2 образуются еще и горючие газы: окись углерода CO, водород H_2, метан CH_4 и др. Примерами таких ВВ являются пироксилин и бездымный порох, а также новые мощные ВВ — ТЭН и гексоген, нашедшие после первой империалистической войны применение для снаряжения бронебойных и зенитных снарядов.

3) Взрывчатые вещества с количеством кислорода, недостаточным для полного газообразования. В этом случае, помимо названных выше горючих и негорючих газов, выделяется свободный углерод (C) в виде дыма, который, распыляясь в газовом облаке, окрашивает его в черный цвет. Примером таких ВВ может служить тротил.

Как уже указывалось, продукты неполного горения могут быть либо твердыми веществами, либо горючими газами. В первом случае при взрыве получается дым, а во втором — загорание при соприкосновении с воздухом с образованием пламени. Кроме того, продукты неполного горения обычно обладают в известной степени ядовитыми свойствами (окись углерода и окись азота).

Все эти явления при пользовании порохами крайне вредны. Дым и пламя при выстреле демаскируют стреляющие орудия и уменьшают скорострельность, так как на некоторое время точка наводки может стать невидимой, а ядовитость продуктов неполного горения порохов затрудняет стрельбу из закрытых помещений (башен, казематов) при отсутствии хорошей вентиляции.

Для ВВ, идущих на снаряжение снарядов, наоборот, образование в известных пределах дыма даже желательно, так как это облегчает наблюдение разрывов. Известно, например, что разрывы снарядов с тро-

[1] Есть ВВ, в которых окислителем является не кислород, а другие вещества, например галоиды или сера, также способные поддерживать горение таких элементов, как водород или металлы. Эти реакции часто сходны по своему характеру с горением, т. е. соединением тел с кислородом. Примером их может служить детонация смеси водорода и хлора. Количество таких ВВ, впрочем, ограниченно.

тилом лучше видны, чем разрывы снарядов, снаряженных суррогатными аммонийно-селитренными смесями, рассчитанными на полное сгорание. В снаряды мелких калибров, снаряженные этими ВВ, обязательно приходится вводить специальные дымоусилители, иначе будет трудно вести наблюдение за их разрывами.

4. Классификация взрывчатых веществ. Важнейшие представители

Взрывчатых веществ известно очень много. Поэтому установление правильной классификации их является очень важной задачей, не только облегчающей их изучение, но и способствующей выявлению господствующих здесь общих закономерностей.

По боевому применению все ВВ разбиваются на три большие группы:

1) инициирующие ВВ;
2) бризантные ВВ;
3) метательные ВВ (пороха).

Кроме того, некоторые пиротехнические составы (зажигательные, осветительные, сигнальные и трассирующие), идущие для снаряжения специальных снарядов и боеприпасов, также обладают взрывчатыми свойствами; поэтому часто добавляют четвертую группу — пиротехнические составы.

I. **Инициирующие ВВ** употребляются для снаряжения различных капсюлей, являющихся инициаторами взрывных процессов. Взрывчатое превращение этих веществ вызывается сравнительно незначительным механическим или тепловым внешним воздействием и, как правило, протекает в форме детонации. Период нарастания скорости разложения до максимума, характерного для детонации, здесь наиболее короток.

Важнейшими представителями этой группы ВВ являются:

1) Соли гремучей кислоты и тяжелых металлов, так называемые фульминаты, например гремучая ртуть $Hg(ONC)_2$.

2) Производные азотистоводородной кислоты, или азиды, например азид свинца PbN_6.

3) Соли тяжелых металлов и стифниновой кислоты, например стифнат свинца, иначе называемый тринитрорезорцинат свинца (ТНРС), $C_6H(NO_2)_3O_2Pb$.

4) Самые разнообразные капсюльные детонирующие и воспламенительные составы; последние главным образом на основе гремучей ртути, бертолетовой соли и антимония. За последнее время появились воспламенительные составы и без гремучей ртути, на основе ТНРС и тетразена — ВВ, представляющего собой довольно сложное производное непредельного азотоводорода.

II. **Бризантные ВВ** представляют собой основную группу ВВ, идущих на снаряжение снарядов и авиабомб и для изготовления подрывных зарядов. Они служат, таким образом, для разрушения преград и всякого рода предметов. Преимущественной формой взрывчатого превращения их является детонация, вызываемая более значительным, чем это требуется для инициирующих ВВ, внешним воздействием, и как правило, при помощи последних ВВ.

Важнейшими представителями этой группы являются:

1) Из однородных химических соединений:

а) Нитраты, или эфиры азотной кислоты; таковы нитроглицерин $C_3H_5(ONO_2)_3$, нитраты клетчатки (пироксилины, коллоксилины) $C_{24}H_{29}O_9(ONO_2)_{11}$, $C_{24}H_{31}O_{11}(ONO_2)_9$ и т. д.; тетранитратпентаэритрит (ТЭН) $C(CH_2ONO_2)_4$.

Нитраты являются важнейшим классом бризантных ВВ. Сейчас все они, кроме ТЭН, обычно идут для приготовления бездымных порохов и динамитов, о которых будет сказано ниже.

б) Нитросоединения, главным образом ароматического ряда, например тринитротолуол (тротил) $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$; это ВВ — весьма стойкое и способное к длительному хранению, поэтому сейчас оно повсеместно и находит самое широкое применение для снаряжения боеприпасов; тринитроксилол, или ксилил, $C_6H(NO_2)_3(CH_3)_2$, находящий применение в различных суррогатных смесях, а также в сплавах (самостоятельного значения это ВВ не имеет); тринитрофенол, или пикриновая кислота, $C_6H_2(NO_2)_3OH$, которая до открытия тротила имела широкое применение, но была впоследствии вытеснена последним вследствие ее способности к легкому образованию крайне чувствительных солей железа и свинца, так называемых пикратов; тринитрофенилметилнитрамин (тетрил) $C_6H_2(NO_2)_3N\begin{matrix}CH_3\\NO_2\end{matrix}$, находящий преимущественное применение для снаряжения детонаторов, а также в капсюльных составах капсюлей-детонаторов.

Кроме того, имеют некоторое значение нитропроизводные (главным образом динитропроизводные) нафталина и бензола: первые в качестве компонентов взрывчатых смесей, а вторые самостоятельно или тоже в смесях. Широкому применению динитробензола препятствует его повышенная ядовитость, затрудняющая снаряжение боеприпасов.

Наконец, помимо указанных ВВ, практический интерес представляет еще триметилентринитрамин, или гексоген, $C_3H_6N_6O_6$ — очень мощное бризантное ВВ, применяемое наряду с ТЭН для снаряжения малокалиберных бронебойных и зенитных снарядов.

2) Из неоднородных химических соединений:

а) Динамиты, или нитроглицериновые ВВ, например гремучий студень, состоящий из 88—93% нитроглицерина и 12—7% коллоксилина, или желатин-динамит, состоящий из 62—63% нитроглицерина, 3—3,5% коллоксилина, 27—25% калиевой селитры и 8% поглотителя.

б) Аммонийно-селитренные взрывчатые смеси, например аматол состава: 80% аммонийной селитры и 20% тротила; шнейдерит: 88% аммонийной селитры и 12% динитронафталина; маисит: 72% аммонийной селитры и 28% пикрата аммония; беллит: 80% аммонийной селитры с 20% динитробензола. Все эти ВВ были предложены в качестве суррогатных ВВ для замены тротила.

в) Хлоратные и перхлоратные взрывчатые смеси, в большинстве отличающиеся от аммонийно-селитренных составов лишь тем, что в качестве содержащих кислород компонентов в них берутся соли хлорноватой (в хлоратных ВВ) или хлорной (в перхлоратных ВВ) кислот.

г) Оксиликвиты — различные порошкообразные органические поглотители, пропитанные жидким кислородом.

III. **Пороха** употребляются при изготовлении боевых и холостых зарядов для различного рода огнестрельного оружия. Преимущественным видом взрывчатого превращения их является быстрое сгорание, вызываемое лучом огня от так называемых воспламенительных составов.

Пороха делятся на две большие подгруппы: а) пороха — механические смеси и б) пороха коллоидного типа.

Представителями первой подгруппы могут служить дымные, или черные, пороха, представляющие собой механические смеси селитры, серы и угля, например артиллерийский и ружейный порох состава: 75% калиевой селитры, 10% серы и 15% угля.

Пороха второй подгруппы представляют собой пироксилин, желатинированный (переведенный в коллоидное состояние) тем или иным растворителем (летучим, труднолетучим или нелетучим), например:

1) пироксилиновый порох на летучем растворителе, состоящий из 95,7% пироксилина, 2% спирто-эфирного растворителя, 1% дифениламина и 1,3% влаги;

2) балистит — порох на труднолетучем растворителе, состоящий из 20—28% нитроглицерина, 70—68% растворимого пироксилина и 10% других веществ; этот тип иногда называют нитроглицериновым порохом балиститного типа;

3) кордит — порох, принадлежащий к тому же классу и состоящий из 58% нитроглицерина, 35% нерастворимого пироксилина, 5% вазелина, 1,5% дополнительного растворителя — ацетона и 0,5% влажности; этот тип называют нитроглицериновым порохом кордитного типа;

4) порох на нелетучем растворителе, состоящий из 68% растворимого пироксилина, 25% тринитротолуола, 5,5% динитротолуола, 0,5% централита и 1% влажности; нитропроизводные играют здесь роль нелетучего растворителя пироксилина[1].

5. Основные требования к ВВ, применяемым в военном деле

В военном деле ВВ применяются: а) для изготовления зарядов к огнестрельному оружию (из порохов); б) для снаряжения боеприпасов: снарядов, авиабомб, ручных и ружейных гранат, всевозможных типов морских и сухопутных мин, морских торпед и т. д., а также для снаряжения подрывных зарядов, огнепроводных (пороховых) и детонирующих (из бризантных и инициирующих ВВ) шнуров. Инициирующие ВВ находят применение в капсюлях трубок и взрывателей и прочих средствах воспламенения.

Взрывчатые вещества должны удовлетворять следующим требованиям, предъявляемым к ним практикой службы в войсках:

1) достаточное содержание энергии и мощность, обеспечивающие надлежащее метательное действие или разрушительный эффект;

2) определенные пределы чувствительности к внешним воздействиям, обеспечивающие, с одной стороны, безопасность в обращении и, с другой, — легкость возбуждения взрыва;

3) способность при хранении в войсковых складах сохранять неизменными свои физико-химические и, следовательно, взрывчатые свойства;

4) наличие отечественной сырьевой базы, легкость и безопасность фабрикации и как следствие этого достаточная экономичность;

5) целый ряд специальных требований в отношении как физических (негигроскопичность, нелетучесть, нерастворимость, плавкость, плотность и пр.), так и взрывчатых свойств (прогрессивность горения пороха, безопасность бризантных ВВ при выстреле или прострелe пулей, безвредность продуктов горения порохов, беспламенность порохов и т. д.).

ГЛАВА II

СВОЙСТВА ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

1. Чувствительность ВВ

1. Начальный импульс и его виды. Как уже было указано выше, ВВ, будучи, вообще говоря, неустойчивыми химическими системами, разлагаются лишь при определенных условиях, а именно — под влиянием внешних воздействий. Это качество ВВ называют чувствительностью.

---

[1] О назначении других компонентов будет сказано ниже.

За меру чувствительности ВВ принимают то наименьшее количество внешней энергии, которое нужно сообщить веществу, чтобы вызвать начало его взрывчатого превращения.

Эта внешняя энергия носит обычно название *начального импульса*.

В качестве начального импульса для взрывчатого разложения ВВ могут быть использованы различные формы энергии: механическая (удар, накол, трение), тепловая (нагрев, луч пламени), электрическая (накал, разряд и, наконец, энергия взрыва другого ВВ.

Форма и величина начального импульса, как показывает опыт, значительно влияют на ход развития взрывчатых превращений, причем между различными видами начальных импульсов не существует эквивалентности.

Однако различные ВВ обладают *избирательной чувствительностью* к тем или иным формам начального импульса. Так, например, инициирующие ВВ способны детонировать под действием механического и теплового импульсов, тогда как большинство бризантных ВВ под действием теплового импульса только загорается, причем это горение лишь при особых условиях (ВВ в оболочке, большая масса его) переходит во взрыв, не перерастая, однако, в детонацию; для детонации же бризантных ВВ нужен начальный импульс в виде энергии взрыва другого ВВ — инициирующего.

В каждом классе ВВ — инициирующих и бризантных — отдельные вещества также проявляют избирательную чувствительность. Так например, азид свинца по сравнению со стифнатом свинца (ТНРС) более чувствителен к механическим воздействиям и менее — к тепловым.

Указанная избирательность ВВ к внешним импульсам является следствием всей суммы физических и химических свойств различных ВВ (физическое состояние, величина кристаллов, плотность, температура, примеси, молекулярное строение). Насколько, например, существенно влияние факторов физического порядка, видно хотя бы из того, что с увеличением плотности бризантных ВВ, как правило, уменьшается чувствительность их к инициирующему действию капсюля.

Чувствительность ВВ должна быть в определенных границах. Малая чувствительность ВВ затрудняет, а иногда и вовсе исключает возможность их применения в самостоятельном виде, так как для взрыва их требуется затрата слишком большого количества внешней энергии. Чрезмерно высокая чувствительность также затрудняет применение взрывчатого вещества, вызывая необходимость особых мер предосторожности при обращении с ним.

Поэтому *при конструировании новых боеприпасов или пороховых зарядов весьма важной практической задачей является выбор в каждом конкретном случае начального импульса наиболее целесообразной формы и величины*.

В разрешении этой задачи на помощь конструктору приходит теория ВВ с разработанными ею лабораторными методами определения чувствительности ВВ, позволяющими получить первую ориентировку о характере чувствительности того или иного ВВ, а следовательно, и о его поведении в боеприпасах во время службы в войсках.

2. Методы определения чувствительности ВВ к нагреву, удару, наколу, трению и прострелу пулей. *Определение чувствительности к тепловому начальному импульсу* осуществляют в двух формах: а) путем более или менее постепенного нагревания ВВ до так называемой температуры вспышки и б) путем непосредственного воспламенения ВВ лучом огня.

Температурой вспышки называют ту наименьшую температуру, до которой должна быть нагрета часть вещества для того, чтобы вызвать распространение в нем превращения со скоростью, достаточной для получения по крайней мере звукового эффекта.

Испытание должно быть строго стандартизировано. Иначе трудно получить сравнимые результаты.

Температуру вспышки ВВ обычно определяют в бане, наполненной парафином или сплавом Вуда[1]. Баню нагревают до произвольной температуры, близкой к ожидаемой температуре вспышки. Затем вставляют закрытые пробками металлические гильзы с 0,05 *г* испытуемого ВВ и регистрируют время выдерживания гильз до вспышки. При этом рядом опытов устанавливают с точностью до 5° ту минимальную температуру, ниже которой при выдержке в течение 5 минут вспышки не наблюдается; эта температура и принимается условно за температуру вспышки.

Таблица 8

Температура вспышки некоторых ВВ

Название ВВ	Температура вспышки в °С	Название ВВ	Температура вспышки в °С
Гремучая ртуть	175—180	Тетрил	195—220
Азид свинца	330—340	Пикриновая кислота	290—300
Стифнат свинца	375	Тротил	290—295
Пироксилин	195	Аматол	220
Нитроглицерин	200	Бездымный порох	180—200
ТЭН	215	Дымный порох	290—300
Гексоген	230		

Испытание ВВ на чувствительность к лучу огня производят с небольшим количеством ВВ, около 0,1 *г*, либо путем прикосновения к ним горящей лучиной или раскаленной проволокой, либо бросанием их в раскаленную докрасна железную чашку. При этом наблюдают характер сгорания вещества.

Определение чувствительности ВВ к удару. Испытание чувствительности ВВ к удару производят с помощью приборов, называемых копрами.

Сущность испытания заключается в определении рядом опытов той работы удара, которая необходима для получения одних взрывов, или, наоборот, одних отказов, или, наконец, определенного соотношения между ними.

Копры могут быть самого разнообразного устройства, но сущность их работы одна: удар падающего груза определенного веса по навеске в 0,02 или 0,03 *г* испытуемого ВВ. Для этого ВВ помещают между наковаленкой и бойком специального штемпельного приборчика. Грузы для испытания инициирующих ВВ берут обычно весом около 0,5 *кг*, а для испытаний бризантных ВВ — весом 2—30 *кг*. Результат определения чувствительности к удару выражают одним из следующих способов.

1. Определяют нижний и верхний пределы чувствительности ВВ, т. е. высоты сбрасывания грузов, при которых из определенного числа испытаний (обычно десяти) не получается ни одного взрыва (нижний предел) или же получаются все взрывы (верхний предел). Этот способ применяется обычно для характеристики чувствительности к удару инициирующих ВВ.

---

[1] Сплав 15 частей висмута с 8 частями свинца, 4 частями олова и 3 частями кадмия; температура плавления этого сплава около 65° С.

В таблице 9 приведены данные о чувствительности к удару некоторых инициирующих ВВ, выраженные по вышеуказанному способу.

Таблица 9

Данные чувствительности к удару некоторых инициирующих ВВ

Название ВВ	Пределы в *см*		Вес груза в *кг*
	нижний	верхний	
Гремучая ртуть	5,5	2,5	0,69
Азид свинца	7,0	23,0	0,98
Стифнат свинца (ТНРС)	14,0	25,0	1,43

2. Определяют процент взрывов, получающихся при падении груза с определенной высоты на определенную навеску ВВ. Способ этот очень нагляден и часто применяется для характеристики чувствительности к удару бризантных ВВ. Данные о чувствительности некоторых из ВВ при этом способе приводятся в таблице 10.

Таблица 10

Данные о чувствительности к удару некоторых бризантных ВВ

Название ВВ	% взрывов из 100 испытаний	Примечание
Тротил	4—8	Груз 10 *кг*; высота падения 25 *см*; живая сила удара 2,5 *кгм* (площадь ВВ — 0,5 *см*^{2})
Аматолы	20—30	
Пикриновая кислота	24—32	
Тетрил	50—60	
Гексоген	70	
ТЭН	100	

3. Третий способ заключается в построении кривой чувствительности ВВ и в определении той высоты падения груза, при которой получается определенный процент (чаще всего 50%) взрывов.

Степень чувствительности ВВ к удару имеет большое значение, так как при выстреле из орудия в результате удара волны пороховых газов по дну снаряда во взрывчатом веществе разрывного заряда возникают напряжения.

Величина этих напряжений должна быть такова, чтобы ВВ не самовзрывалось при движении снаряда по каналу орудия, причем практикой установлено, что эта величина не должна быть больше:

для пикриновой кислоты . . . . . 500 *кг/см*^{2}
„ тротила . . . . . 900—1 100 *кг/см*^{2}

К сожалению, нет строгих математических зависимостей между этими цифрами и цифрами, характеризующими чувствительность по методу испытаний на копре. Однако считают, что если чувствительность ВВ на копре выше чувствительности пикриновой кислоты, то таким ВВ нельзя снаряжать артиллерийские снаряды без его флегматизации. Флегматизацией называют понижение чувствительности ВВ путем введения в него инертных веществ.

Определение чувствительности ВВ к наколу. Этому испытанию подвергают только инициирующие ВВ. Определение производят в общем по методу, аналогичному методу определения чувствительности ВВ к удару, с тем лишь отличием, что груз падает не на боек, а на стандартное жало, накалывающее ВВ.

Определение чувствительности ВВ к трению. Определение чувствительности ВВ к трению производят реже, чем испытание чувствительности к удару. Испытание ведут в особом приборе, состоящем из двух тарелок: одной неподвижной и другой вращающейся, которую нагружают грузами различного веса. На нижнюю тарелку насыпают навеску испытуемого ВВ и приводят во вращение верхнюю тарелку со скоростью от 20 до 150 об/мин. Чувствительность к трению на этом приборе определяют величиной нагрузки на верхнюю тарелку, при которой происходит взрыв.

Иногда для определения чувствительности ВВ к трению применяют фрикционный маятник длиной 2 *м*, который своим башмаком весом от 1 до 20 *кг* может скользить по плоскости с вогнутой канавкой, куда насыпают 7 *г* испытуемого ВВ. При качаниях маятника ВВ сильно растирается подошвой башмака. При испытании определяют минимальную высоту подъема (падения) маятника, при которой происходит вспышка вещества. При этом ВВ считается малочувствительным, если при весе башмака в 1 *кг* и высоте падения маятника в 150 *см* не происходит вспышки при 10 качаниях.

Определение чувствительности ВВ к прострелу пулей. Нечувствительность ВВ к прострелу пулей — качество, очень важное для тех из них, которые идут на снаряжение ручных гранат и авиационных бомб, так как именно эти боеприпасы особенно часто могут быть подвергнуты обстрелу не только обыкновенными, но и специальными зажигательными пулями. Тротил и флегматизированный аматол достаточно нечувствительны к прострелу обыкновенной пулей. Пикриновая же кислота, даже флегматизированная 5—8% парафина, при этом загорается. Особенно чувствительны к прострелу пулей ВВ, изготовленные на основе жидкого кислорода (оксиликвиты).

Испытание на чувствительность ВВ к прострелу пулей производят стрельбой из винтовки, закрепленной на станке, с расстояния 25—100 *м* по ВВ, заключенному в соответствующую оболочку.

3. Практические методы изменения чувствительности ВВ. На чувствительность ВВ может оказывать влияние присутствие в нем посторонних невзрывчатых примесей. Такие инертные примеси часто понижают чувствительность ВВ, но некоторые из них могут и повышать, ее, особенно к механическим воздействиям; таковы, например, песок, мелкое стекло, металлы и вообще вещества, частицы которых обладают твердостью большей, чем кристаллы ВВ.

Примеси, понижающие чувствительность, носят название флегматизаторов. К ним относятся, например, вода, вазелин, парафин, камфора, разнообразные масла и пр. Лучшие из них обладают обычно консистенцией смазки. Они обволакивают отдельные частицы и всю поверхность ВВ эластичной пленкой, сообщая им способность как бы ускользать от удара и понижая их восприимчивость к тепловым воздействиям.

2. Стойкость ВВ

1. Понятие о физической и химической стойкости ВВ. Стабилизация ВВ. Наряду с чувствительностью большое практическое значение имеет стойкость, или стабильность, ВВ. Этим термином обозначают способность ВВ сохранять свои свойства при хранении в течение продолжительного времени.

Различают физическую и химическую стойкость взрывчатых веществ. Первая обусловливается такими свойствами их, как негигроскопичность, нелетучесть, достаточная механическая прочность и вообще способность сохранять свое физическое состояние.

Химическая стойкость ВВ зависит прежде всего от их природы. Известно, например, что молекулы эфиров азотной кислоты (нитраты)

значительно менее прочны, чем молекулы ароматических нитросоединений, и могут, следовательно, легче разлагаться при длительном хранении. Загрязненность ВВ посторонними примесями также влияет на химическую стойкость. Некоторые из этих примесей ускоряют процесс распада ВВ, что при неблагоприятных условиях хранения (повышенная температура, присутствие влаги и продуктов распада ВВ) может привести к взрыву. В этом отношении особенно вредно наличие следов свободных кислот.

Некоторые из примесей могут играть и противоположную роль — роль замедлителей разложения ВВ. К числу их относятся, например, углекислые соли натрия, кальция, магния и аммония, а также различные органические соединения: этиловый и амиловый спирты, анилин, дифениламин, ацетон и др. Действие их заключается в том, что они, соединяясь с продуктами разложения, нейтрализуют последние, чем фактически замедляют дальнейший распад молекул ВВ.

Эти замедлители разложения ВВ носят обычно название стабилизаторов. Процесс введения стабилизаторов в состав ВВ называется стабилизацией и представляет собой очень важную, а иногда и сложную операцию.

2. Методы определения химической стойкости ВВ. Для опытного определения и исследования химической стойкости ВВ существует ряд методов, называемых обычно пробами на стойкость.

К числу наиболее простых методов относятся такие, при которых стойкость характеризуется продолжительностью нагревания вещества при определенной температуре до появления заметных признаков разложения. Таковы, например, проба Абеля и проба Вьеля.

К числу таких же простых проб, но более длительных и указывающих не только начало разложения ВВ, но и течение его во времени, относятся пробы взвешивания. Они основаны на периодическом установлении потери в весе ВВ в результате выделения продуктов его распада при хранении в определенных температурных условиях, чаще всего при 75° или 95°.

Переход от этих и многих подобных проб ко времени, в течение которого ВВ, хранимое в нормальных условиях, сохраняет свою стойкость, точно не выражен никакими определенными цифрами. Однако практика показывает, что если ВВ удовлетворяют нормам, установленным по этим пробам, то и в хранении они окажутся стойкими в течение достаточно длительного периода времени (10—15 лет для порохов; 15—20 лет для бризантных ВВ).

3. Физико-химические характеристики ВВ

1. Теплота и температура взрыва. Теплота взрыва. Выше уже указывалось на значение теплоты при взрыве.

Различают теплоту при постоянном объеме Q_v и теплоту при постоянном давлении Q_p, величины которых связаны выражением, вытекающим из первого начала термодинамики:

$$Q_v = Q_p + pv = Q_p + nRT.$$

Говоря о теплоте взрыва, имеют в виду теплоту при постоянном объеме Q_v, отнесенную к определенному весовому количеству ВВ, обычно к 1 *кг*. Различные ВВ выделяют при взрыве далеко не одинаковое количество тепла. Это количество можно либо определить экспериментально, пользуясь методом калориметрии, либо вычислить теоретическим путем.

В таблице 11 приведены данные теплот взрыва при постоянном объеме для некоторых ВВ.

Таблица 11

Величины теплот взрыва при постоянном объеме для некоторых ВВ

Название ВВ	Теплота взрыва в *Кал/кг*	Название ВВ	Теплота взрыва в *Кал/кг*
Инициирующие ВВ		Аматол 80/20	970
Гремучая ртуть	414	Шнейдерит 88/12	920
Азид свинца	367	**Пороха**	
Бризантные ВВ		Дымный	665
Пироксилин	1 040	Бездымный пироксилиновый орудийный	765
Нитроглицерин	1 490	Бездымный пироксилиновый винтовочный	810
ТЭН	1 400	Бездымный нитроглицериновый орудийный	1 096—1 173
Гексоген	1 300		
Тетрил	1 090		
Пикриновая кислота	1 030		
Тротил	1 000		

Температура взрыва. Под температурой взрыва ВВ понимают ту максимальную температуру, до которой в результате взрыва оказываются нагретыми продукты его разложения. Непосредственное измерение температуры взрыва современными методами не удается вследствие исключительной быстротечности процесса и крайней высоты температур (см. таблицу 12). Температуру взрыва обычно вычисляют теоретически по теплоемкостям продуктов взрыва и теплоте взрыва.

Таблица 12

Температура взрыва некоторых ВВ

Название ВВ	Температура взрыва в °С	Название ВВ	Температура взрыва в °С
Гремучая ртуть	4 500	Пикриновая кислота	3 600
Азид свинца	3 500	Тротил	3 200
Пироксилин сухой	3 500	Дымный порох	2 380
Нитроглицерин	4 500	Бездымный пироксилиновый порох	2 200—2 400
ТЭН	3 900	Бездымный нитроглицериновый порох	2 400—3 000
Гексоген	3 400		
Тетрил	3 800		

2. Сила, работоспособность и бризантность ВВ. Работа продуктов взрыва. Потенциальная энергия и сила ВВ. Механическая работа, производимая ВВ при разложении, есть результат превращения скрытой в нем химической энергии в тепловую; поэтому количество теплоты, выделяющейся при взрыве, может служить мерой наибольшей теоретически возможной работы, на которую способно данное взрывчатое вещество.

Для того чтобы перейти от теплоты разложения к наибольшей теоретически возможной для взрывчатого вещества работе (A_{max}), нужно эту теплоту умножить на механический эквивалент теплоты E:

$$A_{max} = EQ_v.$$

Величина $A_{max} = EQ_v$ носит название потенциальной энергии ВВ и может служить теоретической характеристикой его работоспособности.

Другой теоретической характеристикой работоспособности ВВ служит так называемая сила его F, определяемая выражением

$$F = nRT = \frac{p_0 V_0}{273^\circ} T_0,$$

где n — число молей газообразных продуктов взрыва, выделяемых 1 *кг* ВВ;
R — газовая постоянная;
T_0 — температура взрыва в градусах Кельвина.

Напомним, что газовая постоянная R есть работа расширения при атмосферном давлении 1 моля газа при нагревании его на 1°, выражаемая, как известно из физики, формулой

$$R = \frac{p_0 v_0}{273^\circ}.$$

Следовательно, произведение nRT есть работа расширения при атмосферном давлении при нагревании n молей газа, занимающих объем $V_0 = nv_0$, на T°. Поэтому силой ВВ F считают теоретическую работу, которую произвели бы газообразные продукты взрыва 1 *кг* ВВ, расширяясь при атмосферном давлении при нагревании их от 0° до T°; размерность ее $\frac{л \cdot ат}{кг}$, или $\frac{кгм}{кг}$, или какие-либо другие единицы работы, отнесенные к единице ВВ.

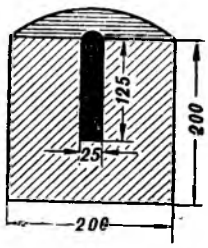


Рис. 2. Бомба Трауцля (до взрыва)

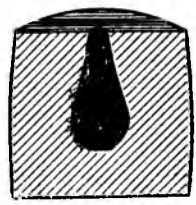


Рис. 3. Бомба Трауцля (после взрыва)

Следует заметить, что та полезная работа, которая производится взрывчатым веществом, в действительности всегда меньше потенциальной энергии, так как часть теплоты, выделяемой при взрыве, затрачивается на нагревание оболочки и окружающей среды, а часть ее тратится на некоторые вредные сопротивления. Так, например, при выстреле из орудия часть газов вырывается из дула, будучи нагретой до высокой температуры; часть же теплоты расходуется на нагревание стенок ствола и т. п. Это обстоятельство, однако, не опорачивает указанных теоретических характеристик, так как они хотя и не являются неизменными, строго постоянными величинами (константы), тем не менее дают правильные сравнительные представления о работоспособности различных ВВ. Так как в основе вычисления этих характеристик лежат реакции взрывчатых превращений, направление которых определяется не только свойствами ВВ, но и теми условиями, в которых осуществляется взрывчатое разложение, то на практике предпочитают сравнивать работоспособность различных ВВ не по этим характеристикам, а по характеристикам, получаемым опытным путем с помощью стандартизованных методов.

Наиболее простым и в то же время наиболее распространенным методом практической оценки работоспособности ВВ является проба Трауцля. Она заключается в том, что 10 *г* испытуемого ВВ взрывают в цилиндрическом канале массивной свинцовой бомбы (рис. 2). При взрыве канал бомбы расширяется (рис. 3), и увеличение его объема служит характеристикой работоспособности ВВ.

Результаты испытаний некоторых бризантных ВВ по пробе Трауцля приведены в таблице 13. Параллельно в правой части таблицы приводятся и теоретические характеристики: потенциальная энергия и сила.

Таблица 13

Характеристика работоспособности некоторых ВВ

Название ВВ	Проба Трауцля	EQ_v *тм/кг*	F *л · ат/кг*
Тротил	305	410	8 350
Мелинит	335	427	9 300
Тетрил	340	465	10 250
Гексоген	490	556	11 240
ТЭН	500	598	11 480

Как видно из таблицы 13, порядок возрастания величин остается один и тот же. При рассмотрении цифр вертикальных столбцов таблицы следует ясно представлять себе, что никакой соизмеримости между числами для пробы Трауцля, с одной стороны, и для теоретических характеристик, с другой, — нет, так как их физический смысл разный.

Бризантное действие ВВ. Термин бризантность происходит от французского слова „briser" — раздроблять — и означает способность ВВ раздроблять соприкасающиеся с ним предметы (корпуса снарядов, породу и т. д.). Способность эта зависит, прежде всего, от скорости взрывчатого превращения и от величины давления при взрыве. Чем больше эта скорость, тем резче подъем давления и удар по окружающей среде.

Таблица 14

Скорости разложения некоторых ВВ

Название ВВ	Плотность разрывного заряда	Скорость детонации в *м/сек*
Тротил литой	1,54	6 600
„ прессованный	1,51	6 700
Пикриновая кислота литая	1,53	7 080
„ „ прессованная . .	1,60	7 100
Тетрил	1,63	7 200
Гексоген	1,72	8 380
ТЭН	1,72	8 350

Наиболее распространенным и довольно простым методом оценки бризантности ВВ является так называемая австрийская проба, предложенная Гессом (1876 г.), по которой бризантность характеризуют величиной обжатия (в миллиметрах) свинцовых цилиндров определенного диаметра при взрыве на них заряда в 50 *г* ВВ.

Эта величина для некоторых бризантных ВВ имеет следующие значения:

тротил . . . . . 12—13 *мм*
мелинит . . . . . 15—16 „
тетрил . . . . . 18—19 „

ГЛАВА III

ИНИЦИИРУЮЩИЕ ВВ И СРЕДСТВА ИНИЦИИРОВАНИЯ

1. Способы инициирования ВВ

Исходя из изложенной выше общей классификации, можно все начальные импульсы подразделить на две большие группы: а) группу простых импульсов, охватывающих все формы механической (удар, трение, сжатие) и тепловой энергии (искра, пламя, нагрев), и б) группу сложных импульсов, в которых импульсы первой группы сочетаются со специальным „взрывным" импульсом. К последней группе, например, принадлежат: импульс при помощи капсюля-детонатора и импульс, сообщаемый взрывом на расстояние через инертную среду.

В подрывной и артиллерийской технике используются все указанные выше формы начальных импульсов, чаще всего в виде сложных импульсов. Для их практического осуществления создаются специальные конструкции, имеющие целью вызвать либо воспламенение ВВ (порохов, пиротехнических средств), либо их детонацию (разрывных зарядов боеприпасов и зарядов подрывного комплекта). Конструкции эти называются средствами инициирования. Составной частью любого из средств инициирования являются инициирующие ВВ, которые сами взрываются от простого начального импульса и сообщают взрываемым ими ВВ начальный импульс той или иной силы.

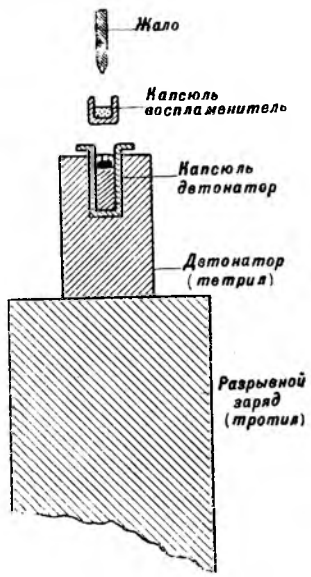


Рис. 4 Схема передачи взрыва в боеприпасе

Для взрывания инициирующих ВВ применяются следующие способы:

1) механический, при котором взрыв возникает в результате удара бойка (патронный капсюль-воспламенитель), накола жала (трубочный капсюль-воспламенитель) или движения терки (состав вытяжной трубки);

2) огневой, когда взрыв происходит от луча огня капсюля-воспламенителя или огнепроводного бикфордова шнура; первым способом обычно взрывают капсюли-детонаторы в артиллерийских трубках и взрывателях, вторым — подрывные капсюли-детонаторы;

3) электрический, при котором первичным импульсом для возбуждения взрыва служит получаемая от какого-либо источника электрическая энергия, используемая для получения искры или накала мостика в электрозапале. Этот способ имеет преимущественное применение в подрывном деле.

При инициировании больших разрывных зарядов недостаточно чувствительных ВВ (например, плавленого тротила или различных суррогатов) импульс, даваемый капсюлем-детонатором, оказывается слишком слабым, чтобы вызвать полную детонацию заряда. В таких случаях усиливают инициирование введением между ВВ разрывного заряда и капсюлем-детонатором промежуточного заряда из более восприимчивого к детонации и более мощного по своему действию ВВ. Этот заряд называют детонатором. Обычно для этой цели применяют тетрил.

При таких условиях имеем следующую схему передачи детонации в современном снаряде (рис. 4): а) при ударе снаряда о преграду жало накалывает капсюль-воспламенитель, дающий луч огня; б) луч огня капсюля-воспламенителя взрывает капсюль-детонатор; в) взрыв последнего вызывает взрыв детонатора; г) детонатор, наконец, взрывает разрывной заряд.

Если снаряд заполнен маловосприимчивым к детонации суррогатом вроде шнейдерита или беллита, то приходится, кроме детонатора, располагаемого во взрывателе, помещать в толще разрывного заряда еще один детонатор, называемый дополнительным.

2. Общая характеристика инициирующих ВВ

Инициирующим называется ВВ, способное под действием простого начального импульса детонировать и вызывать воспламенение, взрыв или детонацию других ВВ.

Характерными особенностями инициирующих ВВ являются:

1) Эндотермический характер большинства из них. Благодаря этому в молекулах инициирующих ВВ уже в момент их образования аккумулируется дополнительная энергия, обеспечивающая затем при взрыве большую эффективность разложения.

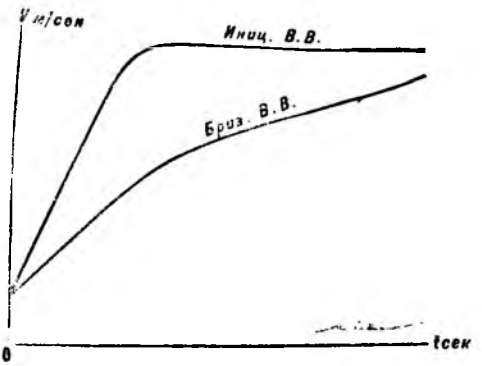


Рис. 5. Нарастание скорости разложения ВВ

2) Быстрое нарастание скорости разложения до скорости детонации. Как ни быстротечно явление детонации, в ходе ее можно заметить два периода: период нарастания скорости разложения и период, когда скорость, достигнув наибольшего значения, остается постоянной до конца взрыва.

Большая быстрота нарастания скорости разложения инициирующих ВВ обеспечивает мгновенность возникновения давления в месте взрыва, а следовательно, резкость удара взрыва. Этим свойством инициирующих ВВ и обусловливается особый характер действия их и их отличие от бризантных ВВ.

На схеме (рис. 5) наглядно показано различие в нарастании скорости детонации инициирующих и бризантных ВВ.

У разных инициирующих ВВ нарастание скорости взрывчатого превращения также различно. Этим можно, например, объяснить бо́льшую инициирующую способность азида свинца по сравнению с гремучей ртутью. Навеска азида свинца, воспламененная от пламени спички, пробивает картон, а точно такая же навеска гремучей ртути только быстро сгорает.

3) Наконец, восприимчивость к простому начальному импульсу, как уже упоминалось, является третьей характерной особенностью инициирующих ВВ.

3. Основные инициирующие ВВ: гремучая ртуть, азид свинца и ТНРС (стифнат свинца)

Гремучая ртуть $Hg(ONC)_2$ является солью гремучей кислоты. Соли этой кислоты в технике носят также название фульминатов. Полученная впервые Говардом в 1799 г., гремучая ртуть стала применяться с 1815 г. в составе ружейных капсюлей, а после открытия Нобелем в 1864 г. явления детонации — и в составах капсюлей-детонаторов.

До сих пор гремучую ртуть получают по существу тем же методом, каким получал ее Говард, т. е. действием этилового спирта на раствор ртути в азотной кислоте. По окончании реакции гремучая ртуть выпадает в виде мелкокристаллического порошка белого или серого цвета. Затем ее тщательно промывают дестиллированной водой. До снаряжения гремучую ртуть хранят под водой в стеклянных банках.

Перед применением (для изготовления ударных или капсюльных составов) гремучую ртуть высушивают под вакуумом и смешивают в сухом виде с прочими частями составов механизированным путем в отсутствии людей, так как эти операции чрезвычайно опасны.

Физико-химические свойства гремучей ртути. Гремучая ртуть представляет собой мелкокристаллическое вещество белого или серого цвета, подобно ртути, ядовитое; удельный вес ее 4,4, а практически достижимая плотность запрессовки — около 3,9. Гремучая ртуть обладает способностью к запрессовке „намертво", т. е. когда она теряет восприимчивость к начальному импульсу. Так, при давлениях запрессовки свыше 500 *кг/см*^{2} она не детонирует от луча огня. В отношении накола она ведет себя несколько иначе, не действуя от этого импульса при запрессовке под давлением, меньшим 600 *кг/см*^{2}. При давлениях же свыше 1 000 *кг/см*^{2} гремучая ртуть дает отказы и при наколе. Воздух и свет не оказывают вредного влияния на гремучую ртуть. На никель и свинец она практически не действует, с медью ее взаимодействие незначительно, с алюминием она реагирует легко.

По своим взрывчатым свойствам гремучая ртуть — типичный представитель инициирующих ВВ. Она легко детонирует от удара, трения и накола, а в спрессованном виде в капсюле — и от нагрева, разлагаясь при этом на окись углерода, свободный азот и ртуть (в момент взрыва парообразную) и выделяя свыше 400 *Кал/кг*. Эта величина, как и прочие взрывчатые характеристики (скорость детонации, объем газов, потенциальная энергия и сила), у гремучей ртути значительно ниже, чем у любого бризантного ВВ, при расчете на единицу веса. Такое соотношение вообще характерно и для других инициирующих ВВ. Если же произвести перерасчет указанных показателей на единицу объема вещества, то в силу большого удельного веса инициирующих ВВ разница окажется незначительной. Это свидетельствует о большей концентрации энергии в молекуле инициирующего ВВ, что также подтверждается большей, как правило, температурой разложения инициирующих ВВ, являющейся показателем „напряжения энергии".

Гремучая ртуть легко флегматизируется водой: при 5% влаги понижаются ее взрывчатые свойства, при 10% влаги она только сгорает, а при 30% влаги она превращается в инертное вещество. В качестве флегматизатора гремучей ртути в технике применяют парафин.

Гремучая ртуть издавна находит применение как инициирующее ВВ для снаряжения капсюлей-детонаторов; она также входит во многие ударные составы для капсюлей-воспламенителей и детонирующих шнуров.

Азиды, или соли азотистоводородной кислоты HN_3, в последнее время широко применяются в составах некоторых капсюлей-детонаторов вместо гремучей ртути. Важнейшим представителем азидов, приобревшим большое практическое значение, является азид свинца PbN_6, получаемый реакцией обменного разложения азотнокислого свинца $Pb(NO_3)_2$ и азида натрия NaN_3. Последний получают из металлического натрия, газообразного аммиака и закиси азота.

По физико-химическим и взрывчатым свойствам азид свинца имеет ряд существенных преимуществ перед гремучей ртутью: обладая несколько бо́льшим удельным весом, чем последняя (4,7—4,8), он совершенно нечувствителен к перепрессовкам и не теряет способности детонировать даже в воде. Углекислота воздуха и свет его разлагают. Будучи изолированным от них, азид свинца обладает большей стойкостью, чем гремучая ртуть. К удару и трению, особенно к наколу и лучу огня, он значительно менее чувствителен.

Самым ценным свойством азида свинца является большая его инициирующая способность, превосходящая инициирующую способность гремучей ртути примерно в десять раз. Мерой этой способности считают предельный инициирующий заряд,

которым называют минимальный заряд инициирующего ВВ, обеспечивающий полную детонацию испытуемого бризантного ВВ, взятого в определенном количестве (обычно в количестве 1 *г*).

Величины предельных инициирующих зарядов азида и гремучей ртути, по Мартину и Веллеру, следующие (таблица 15).

Таблица 15

Величины предельных зарядов инициирующих ВВ

Инициирующий заряд в *г*	Испытуемые ВВ		
	тетрил	мелинит	тротил
Гремучей ртути	0,290	0,300	0,360
Азида свинца	0,025	0,025	0,090

Величина предельного инициирующего заряда также зависит от площади поперечного сечения инициируемого ВВ; поэтому правильнее относить его к единице площади. Соответствующие данные для гремучей ртути и азида свинца при инициировании ими тетрила, выраженные в граммах на квадратный сантиметр, таковы: гремучая ртуть — 0,78 *г/см*^{2}, азид свинца — 0,10 *г/см*^{2}.

Благодаря указанным положительным свойствам азида свинца им стали заменять гремучую ртуть. Что же касается отрицательных его свойств, а именно, чувствительности к влиянию углекислоты и света и малой чувствительности к лучу огня и наколу, то при надлежащем конструировании капсюля эти недостатки могут быть легко устранены.

Оболочки азидовых капсюлей изготовляют из алюминия, никеля или мельхиора, с которыми азид свинца практически не взаимодействует, но отнюдь не из меди, с которой он бурно реагирует.

Лучшим флегматизатором азида свинца является парафин.

Азид свинца обычно употребляется в капсюлях-детонаторах совместно с стифнатом свинца (слоем над азидом), который значительно более, чем азид, восприимчив к лучу огня и не изменяет своих свойств под действием углекислоты воздуха.

Стифнат, или тринитрорезорцинат свинца, $C_6H(NO_2)_3O_2Pb$, получается в результате взаимодействия натриевой соли стифниновой кислоты с азотнокислым свинцом. Сухой продукт представляет собой мелкие желтые кристаллы. В капсюлях-детонаторах ТНРС самостоятельно не применяется, так как он обладает малой бризантностью; его потенциальная энергия равна примерно половине энергии гремучей ртути или азида свинца. Кроме применения в виде добавок к азиду свинца в капсюлях, ТНРС находит употребление в смеси с тетразеном в некоторых, так называемых неоржавляющих, ударных капсюльных составах вместо гремучей ртути.

Тетразен $C_2H_8ON_{10}$ представляет собой инициирующее ВВ, по чувствительности к удару подобное гремучей ртути, а по инициирующей способности уступающее ей примерно в два раза.

4. Ударные и капсюльные составы

Основным ВВ, идущим для снаряжения капсюлей-воспламенителей, до сих пор является гремучая ртуть, но она применяется не в чистом виде, а в смеси с другими веществами. Эти смеси называют ударными составами, так как они воспламеняются либо от удара, либо от накола. Примеси к гремучей ртути имеют назначение прежде всего усилить даваемый ею луч огня; для этого к ней нужно добавлять, во-первых, вещества, способные гореть, а во-вторых, — вещества, способные обеспечить это горение кислородом.

Обычно в качестве горючего в ударных составах применяют трехсернистую сурьму Sb_2S_3, называемую в технике антимонием, а в качестве окислителя — бертолетову соль $KClO_3$. Кроме того, в ударный состав в случае необходимости вводят усилители или понизители чувствительности, связывающие вещества (цементаторы) и стабилизаторы. Так например, для повышения чувствительности в ударный состав вводили ранее измельченное стекло. Для понижения чувствительности иногда вводят шеллак, желатин, гуммиарабик, служащие одновременно и цементаторами состава. Наиболее распространенные ударные составы обычно содержат лишь три основных компонента.

Таким образом, в ударном составе гремучая ртуть является инициатором, она дает вспышку; антимоний — горючая составная часть состава, он повышает жгучесть пламени. Бертолетова соль как источник кислорода поддерживает горение.

В таблице 16 приведены рецептуры гремучертутно-хлоратных составов как применяющиеся в настоящее время, так и находившие еще недавно применение в патронных капсюлях-воспламенителях.

Таблица 16

Рецептуры составов для капсюлей

Наименование капсюлей	Гремучая ртуть в %	Бертолетова соль в %	Антимоний в %	Стекло в %	Желатин в %
Винтовочный	16,7	55,5	27,8	—	—
Револьверный	25,8	37,1	37,1	—	—
Для капсюльных втулок . .	50,0	25,0	25,0	—	—
То же (старая рецептура) . .	33,9	21,6	—	1,3	43,2

Следует отметить уже давно установленный факт вредного действия на поверхность каналов оружия гремучертутных ударных составов с бертолетовой солью, продукты разложения которых имеют кислотный характер. Наиболее вредно действующим продуктом разложения ударного состава оказывается хлористый калий.

Металлическая ртуть, выделяющаяся при взрыве гремучей ртути, также вредно действует на ствол оружия. Вследствие этого стремятся заменить в ударных составах бертолетову соль другими кислородсодержащими веществами, например азотнокислым барием $Ba(NO_3)_2$, а гремучую ртуть — тетразеном и ТНРС. Такие составы называются неоржавляющими.

Капсюльный состав для капсюлей-детонаторов бывает из одного какого-либо инициирующего ВВ, но чаще в него входит несколько веществ, которые располагают в гильзе капсюля послойно. Капсюли, снаряженные лишь одним ВВ, называют обыкновенными, а снаряженные несколькими веществами — комбинированными.

Обыкновенные капсюли-детонаторы снаряжали большей частью гремучей ртутью.

Малая инициирующая способность таких капсюлей заставила почти полностью от них отказаться и перейти на изготовление только комбинированных капсюлей-детонаторов. Их заряд составляет небольшое количество бризантного ВВ (тетрила, ТЭН или гексогена), называемого иногда вторичным инициатором, а поверх него запрессовывают слой гремучей ртути или азида свинца, который покрывают в свою очередь ТНРС. Этот слой называют первичным инициатором. В трубке или взрывателе капсюль располагают первичным инициатором в сторону луча огня или жала.

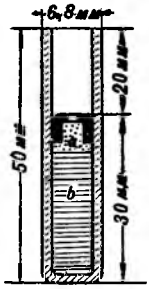


Рис. 6. Капсюль-детонатор

Таким образом, капсюльные составы бывают:

а) чисто гремучертутные или в смеси с бертолетовой солью;

б) гремучертутно-тетриловые;

в) гремучертутно-ТЭНовые или гексогеновые;

г) ТНРС-азидо-тетриловые;

д) ТНРС-азидо-ТЭНовые или гексогеновые.

В комбинированных капсюлях-детонаторах (рис. 6) сначала воспламеняется от луча огня капсюля-воспламенителя (реже от накола) слой инициирующего вещества *a*, а затем детонирует лежащий под ним слой бризантного взрывчатого вещества *b*.

Конструкции средств инициирования и области их применения приводятся в таблице 17.

Таблица 17

I. Артиллерийская техника	
Элементы выстрела, в которых собраны средства инициирования	**Средства инициирования**
Гильзы к патронам стрелкового оружия. Гильзы к артиллерийским патронам унитарного заряжания. Вытяжные трубки к орудиям картузного заряжания. Артиллерийские и авиационные трубки и взрыватели.	Патронные капсюли-воспламенители. Капсюли-воспламенители в капсюльных втулках и ударных трубках. Воспламенительно-терочные приспособления. Трубочные капсюли-воспламенители. Капсюли-детонаторы: а) лучевые, б) накольные.
II. Подрывное дело	
Наименование подрывного средства	**Средства инициирования**
Зажигательная трубка. Электрозапал. Электродетонатор. Детонирующий шнур.	Огнепроводный бикфордов шнур и капсюль-детонатор марки ТАТ № 8. Воспламенительный состав. Электрозапал (воспламенительный состав) и капсюль-детонатор марки ТАТ № 8. 1) Флегматизированная гремучая ртуть (ДШ-31). 2) Гремучая ртуть в смеси с тетрилом (ДШ-34).

5. Основные требования, предъявляемые к капсюлям-воспламенителям и капсюлям-детонаторам. Устройство капсюлей

В зависимости от назначения капсюли могут значительно отличаться как по материалу и размерам оболочек, так и по составу запрессованных в них зарядов. Тем не менее, в каждом капсюле различают следующие основные элементы конструкции:

1) оболочку — цельнотянутый металлический колпачок, в который запрессован заряд ударного или капсюльного состава;

2) ударный или капсюльный состав;

3) покрытие для заряда, представляющее собой бумажный или фольговый (оловянной или медной луженой фольги) кружок, шелковые сетки или металлические колпачки, называемые чашечками, с отверстиями или без них.

Капсюли-воспламенители делятся на капсюли патронные, применяемые в гильзах, и капсюли трубочные, применяемые в трубках и взрывателях.

Особенностями в воспламенении и действии капсюлей обеих групп объясняются и различия в их конструкции и технических требованиях к ним.

К патронным капсюлям (рис. 7) предъявляют следующие требования: а) безотказность действия; б) достаточная мощность и однообразие действия; в) безопасность в обращении и стойкость при хранении; д) отсутствие вредного действия на канал ствола оружия.

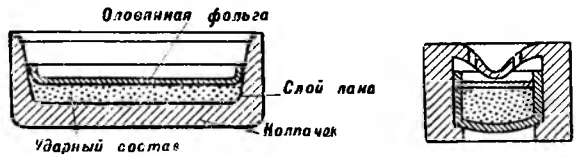


Рис. 7. Патронные капсюли

Аналогичные требования, за исключением, конечно, последнего, предъявляются и к трубочным капсюлям (рис. 8).

Кроме того, к капсюлям, как ко всяким военным изделиям, предъявляют и экономические требования, а именно: простота, быстрота и дешевизна изготовления и наличие для этого отечественного сырья.

Патронные капсюли (рис. 7) изготовляют со сплошным, достаточно толстым и прочным дном, обеспечивающим безопасность обращения. Ударный состав запрессовывают в предварительно залакированный колпачок капсюля до определенной плотности и на определенную высоту, а затем прикрывают его сверху фольгой. Вес заряда капсюля, а также и размеры (толщина и диаметр) колпачка и покрытия должны быть строго определенными. Колпачки изготовляют чаще всего из латуни или из красной меди, реже — из железа, покрытого гальваническим путем медью или цинком.

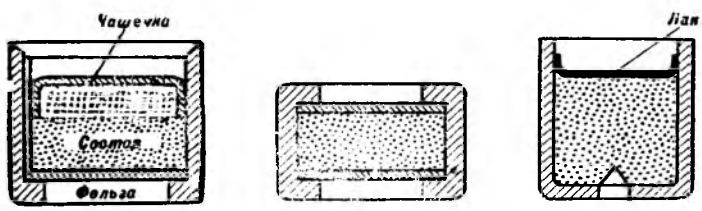


Рис. 8. Трубочные капсюли

Трубочный капсюль устроен иначе. Он имеет колпачок с тонким сплошным дном или таким же дном с отверстием, закрытым медной фольгой. Сверху состав закрывают фольговой чашечкой, фольговым кружком или лаковой пленкой (рис. 8). Верхнее покрытие подбирают такой толщины, чтобы жало могло его легко проколоть и проникнуть в состав, а нижнее покрытие должно легко прожигаться лучом огня ударного состава. Отверстия в дне предназначаются для пропускания луча огня. Оболочки трубочных капсюлей делают из красной меди (чаще всего луженой или никелированной) для предохранения от коррозии.

Итак, конструкция капсюлей-воспламенителей характеризуется: формой, материалом и размерами колпачка и покрытия, величиной заряда, высотой и степенью запрессовки (плотностью) ударного состава и его рецептом, а для трубочных капсюлей еще и диаметром отверстия в дне колпачка.

К капсюлям-детонаторам предъявляются требования, аналогичные тем, которые были указаны для трубочных капсюлей-воспламенителей.

По характеру воспламенения капсюли-детонаторы подразделяются на: а) действующие от луча огня капсюля-воспламенителя или огнепроводного шнура и б) действующие от накола жалом.

Капсюль-детонатор представляет собой металлическую гильзочку, в которую запрессовывают капсюльный состав. Последний закрывают сверху сплошной металлической чашечкой — в накольных капсюлях (рис. 9, *а*) или чашечкой с отверстием — в капсюлях, действующих от луча огня (рис. 9, *б*). В этом случае отверстие в чашечке закрывают изнутри шелковой сеточкой, предохраняющей состав от распыления. Покрытие в виде чашечки не только предохраняет состав от высыпания и защищает его от внешних воздействий, но и усиливает, как показал опыт, действие капсюля. При взрыве плотно запрессованная чашечка способствует большей направленности действия газов по оси заряда, чем обеспечивается более сильный удар последних по инициируемому ВВ.

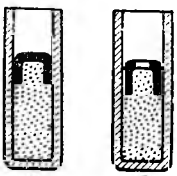


Рис. 9. Капсюли-детонаторы

Расстояние от чашечки до верхнего среза капсюля устанавливают в зависимости от условий применения капсюля; например, для подрывных капсюлей требуется, чтобы это расстояние равнялось 15—20 *мм* для обеспечения возможности закрепления бикфордова шнура.

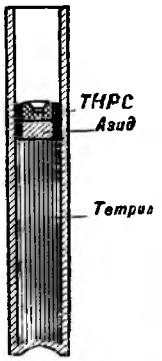


Рис. 10. Капсюль № 8

Артиллерийские капсюли-детонаторы делают почти исключительно комбинированные: гремучертутно-тетриловые или ТНРС-азидо-тетриловые, причем навеску гремучей ртути для них берут от 0,3 до 0,5 *г*, ТНРС — от 0,05 до 0,16 *г*, а азида свинца — от 0,15 до 0,20 *г*.

Вторичный инициатор (тетрил, ТЭН или гексоген) берут в количествах от 0,3 до 1 *г*.

Подрывной ТНРС-азидо-тетриловый капсюль № 8 (сокращенно ТАТ № 8) показан на рис. 10. Он имеет алюминиевую гильзу и заряд следующего состава: ТНРС — 0,15 *г*, азида свинца — 0,20 *г*, тетрила — 1,00 *г*.

Чашечка у него тоже алюминиевая. Дно — вогнутое.

Элементами, характеризующими капсюли-детонаторы, являются: форма, размеры и материал гильзы и чашечки, рецепт состава и вес заряда, степень запрессовки (давление), высота заполнения и, наконец, расстояние чашечки до среза капсюля.

6. Подрывные средства. Производство подрывных работ

Подрывные капсюли-детонаторы взрывают обычно лучом огня, даваемым огнепроводным бикфордовым шнуром (рис. 11).

Бикфордов шнур имеет сердцевину из мелкозернистого дымного пороха, которая заключена в несколько оплеток с различной изоляцией в зависимости от назначения шнура.

Известны следующие сорта бикфордова шнура: белый, асфальтированный, двойной асфальтированный, гуттаперчевый и нетлеющий. Первый из них покрыт белой клеевой краской и предназначается для работы в сухих местах. Три последующих шнура, покрытых влагозащищающими оболочками, предназначены к использованию во влажных местах. Хороший гуттаперчевый шнур может гореть даже в воде. Наконец, нетлеющий шнур предназначен для работ в рудниках, опасных по взрывам газов и пыли.

Средняя скорость горения бикфордова шнура — 60 *см/мин*; отклонения допускаются в $\pm 10\%$.

Дымный порох воспламеняют бикфордовым шнуром непосредственно. Другие же ВВ, менее чувствительные к лучу огня, взрывают при помощи зажигательной трубки (рис. 12). Эта трубка состоит из капсюля-детонатора, вставленного в него одним концом отрезка бикфордова шнура необходимой длины и, иногда, отрезка пенькового фитиля, прикрепляемого к свободному концу шнура. Фитиль состоит из сплетенных пеньковых нитей, пропитанных селитрой; он тлеет со скоростью около 1 *см/мин*.

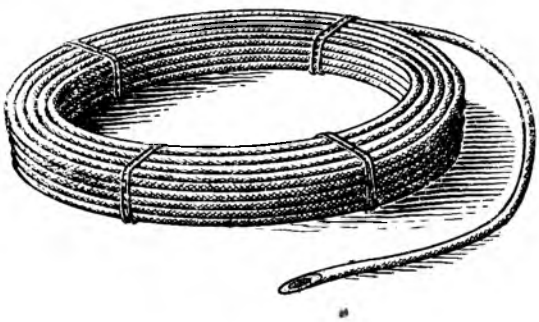


Рис. 11. Бикфордов шнур

Зажигательная трубка вставляется своим капсюлем в гнездо подрывной толовой шашки, а последняя укрепляется на подрываемом предмете или в заряде, если он не ограничивается одной шашкой.

Воспламенение трубки производят либо тлеющим пеньковым фитилем, либо курящейся папиросой, либо, чаще всего, прикладыванием к срезу шнура головки спички, которую зажигают движением спичечной коробки. Срез шнура для облегчения зажжения делают косым, чем достигается большее обнажение сердцевины.

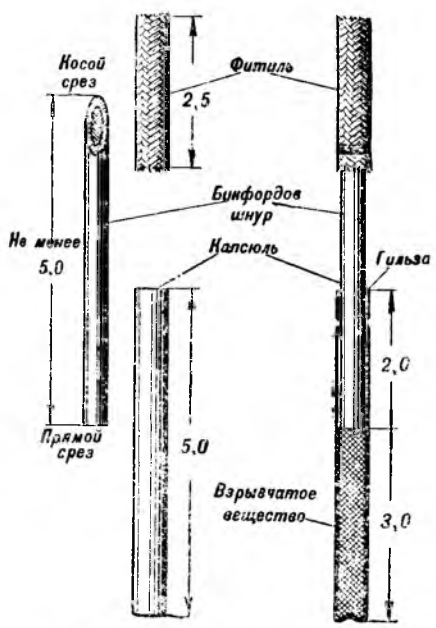


Рис. 12. Зажигательная трубка

С целью одновременного взрыва нескольких десятков зарядов в практику подрывного дела введены электрозапалы и электродетонаторы. Эти изделия являются приемниками электрической энергии, подаваемой по проводникам от какого-либо источника ее; в них она превращается в энергию взрыва.

Электрозапалы бывают различных типов. Наибольшее распространение имеют запалы, основанные на принципе накала электрическим током короткого мостика из тонкой металлической проволоки, обладающей сравнительно небольшим сопротивлением. Они называются запалами накаливания или малого сопротивления. Схема такого запала представлена на рис. 13, где *а* — медная гильза в виде трубки; *н* — эбонитовая колодочка; *п* — медные проводники; *м* — платиновый мостик, обмотанный пироксилиновой ватой *в*; *б* — бумажный стаканчик с взрывчатой смесью *с*; *к* — мастика; *р* — пробочка. Минимальная сила тока, необходимая для взрыва запала, равна примерно 0,5 *а*. Для обеспечения безотказности при групповом подрыве силу тока в цепи необходимо иметь в два-три раза больше минимальной.

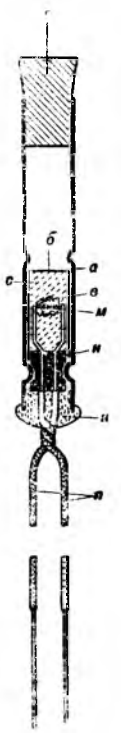


Рис. 13. Электрозапал

В качестве источника тока при электрическом способе взрывания применяют специальные подрывные машинки, например машинку ПМ-2, представляющую собой небольшую (весом около 3 *кг*) динамомашину постоянного тока. При ее помощи может быть взорвано до 25 последовательно включенных электрозапалов. Кроме подрывных машинок в качестве источника электричества можно использовать элементы, аккумуляторы и батареи из них.

Для возбуждения взрыва электрозапал соединяют с капсюлем-детонатором. Для этого после извлечения пробки трубку запала надевают на гильзу капсюля и место соединения обвертывают липкой прорезиненной лентой.

Более удобно заблаговременное соединение запала с капсюлем в одном изделии — электродетонаторе (рис. 14), представляющем собой обычный капсюль-детонатор, в гильзе которого смонтирован описанный выше электрозапал.

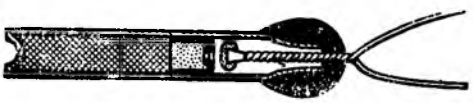


Рис. 14. Электродетонатор

Одновременный взрыв нескольких зарядов может быть произведен также при помощи детонирующих шнуров.

Детонирующие шнуры, как и бикфордов шнур, являются видом огнепроводов, но они, в отличие от последних, способны разлагаться со скоростью детонации, присущей инициирующим и бризантным ВВ.

Применяемые в подрывном деле детонирующие шнуры (гремучертутный ДШ-31 и гремучертутно-тетриловый ДШ-34) имеют скорость разложения около 5000 *м/сек*. Взрывчатая сердцевина первого состоит из 75—80% гремучей ртути и 25—20% парафина, а взрывчатая сердцевина второго — из 28% гремучей ртути, 71,5% тетрила и 0,5% желатина в качестве флегматизатора и цементатора. Диаметр шнуров около 5,5 *мм*. Оболочка — тройная, нитяная. Отличительная окраска верхней оплетки — красная.

Детонирующий шнур или расходящуюся к зарядам сеть шнуров взрывают при помощи зажигательной трубки или электродетонатора. Концы шнуров (у зарядов) должны быть снабжены „оживляющими" капсюлями-детонаторами.

Стопин состоит из проселитренной бумажной нити, покрытой пороховым тестом, которое приготовляется из пороховой мякоти, гуммиарабика и воды. 1 *м* стопина сгорает на открытом воздухе за 20—27 секунд.

Передача огня при помощи стопина особенно часто применяется в пиротехнических средствах.

ГЛАВА IV

БРИЗАНТНЫЕ ВЗРЫВЧАТЫЕ ВЕЩЕСТВА И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

1. Общая характеристика бризантных ВВ

К бризантным ВВ, предназначаемым для снаряжения боеприпасов и для изготовления подрывных зарядов, предъявляются следующие основные требования.

1. Они должны обладать малой чувствительностью к механическим воздействиям, но вместе с тем хорошей восприимчивостью к начальному импульсу от капсюля-детонатора.

2. Фугасное и бризантное действие этих ВВ и вообще их мощность должны обеспечивать решение поставленных тактико-технических задач.

При этом следует заметить, что избыток мощности оказывается иногда ненужным и даже вредным. Так например, бризантность тротила для снарядов из сталистого чугуна оказывается явно излишней, так как чугун от действия мощного ВВ дробится в пыль, чем резко снижается осколочное действие снаряда.

3. Стойкость бризантных ВВ должна обеспечивать возможность их длительного хранения.

4. Доступность и дешевизна сырья, идущего для получения ВВ. Этим требованиям удовлетворяют прежде всего ВВ, принадлежащие к классу ароматических нитросоединений, т. е. ВВ, получаемые нитрацией бензола и его гомологов (производных), сырьевой базой которых служат продукты переработки каменного угля и нефти.

Основными ВВ, применяемыми для снаряжения боеприпасов в большинстве государств, являются тротил и пикриновая кислота. Кроме них имеют практическое значение: ксилил (тринитроксилол) $C_6H(NO_2)_3(CH_3)_2$, динитробензол $C_6H_4(NO_2)_2$ и динитронафталин $C_{10}H_6(NO_2)_2$. Эти ВВ значительно слабее первых двух, а потому они применяются либо в смесях и сплавах с тротилом или пикриновой кислотой, либо идут на изготовление так называемых суррогатных ВВ в смеси с аммонийной селитрой. Далее, заслуживает внимания тетрил $C_6H_2(NO_2)_3N\begin{matrix}CH_3\\ \diagup\\ \diagdown\\ NO_2\end{matrix}$, идущий главным образом на изготовление детонаторов.

Кроме нитроароматических соединений, существует ряд других ВВ, например: ТЭН (тетранитратпентаэритрит, называемый за границей также пентритом) и гексоген (триметилентринитрамин) — новые мощные бризантные ВВ, нашедшие уже после первой империалистической войны применение для снаряжения некоторых видов снарядов и минно-торпедных средств морского флота.

Что касается таких ВВ, как пироксилин и нитроглицерин, в свое время являвшихся единственными представителями бризантных ВВ, то в настоящее время они составляют основу для получения порохов коллоидного типа на летучем и труднолетучем растворителях. Нитроглицерин, кроме того, входит в состав особого класса ВВ, называемых динамитами. Как бризантные ВВ ни пироксилин, ни нитроглицерин сейчас не применяются.

2. Отдельные представители бризантных ВВ

1. **Пикриновая кислота,** или **тринитрофенол,** $C_6H_2(NO_2)_3OH$ получается путем нитрации фенола. Во Франции пикриновую кислоту называют мелинитом, в Англии — лиддитом, в Италии — пертитом и, наконец, в Японии — шимозе.

Открытая впервые Гаусманом в конце XVIII столетия пикриновая кислота более 100 лет применялась в качестве желтой краски для окрашивания шелка и шерсти. Как бризантное ВВ она стала известной с семидесятых годов прошлого столетия благодаря работам Шпренгеля и Тюрпена. После этого она нашла широкое применение сначала во Франции, а затем и во всех других странах.

Исходными материалами для получения пикриновой кислоты служат: а) фенол C_6H_5OH, раствор которого в воде называют в общежитии карболовой кислотой (получается при перегонке каменноугольной смолы или же синтетическим путем из бензола), или б) динитрохлорбензол $C_6H_3(NO_2)_2Cl$ (также получающийся из бензола и являющийся промежуточным продуктом технологии красящих веществ).

В первом случае фенол сульфируют, т. е. обрабатывают серной кислотой, а затем полученный сульфофенол нитруют до получения пикриновой кислоты.

Во втором случае динитрохлорбензол переводят в динитрофенол $C_6H_3(NO_2)_2OH$, а последний нитруют до получения пикриновой кислоты.

Полученное кристаллическое ВВ после промывки водой сушат при температуре 60° С.

Пикриновая кислота представляет собой твердое кристаллическое вещество светложелтого цвета, горькое на вкус; отсюда и название „пикриновая кислота" (по-гречески: πικρος — горький). В расплавленном виде она имеет медообразный вид, почему французы и назвали пикриновую кислоту в плавленом виде мелинитом (miel — по-французски мед). Это название для плавленой пикриновой кислоты укоренилось и у нас. Химически чистый продукт затвердевает при 121°,5 С, а технический — при 119°,5 С. Обладая удельным весом 1,81, пикриновая кислота дает максимальную плотность заливки около 1,61; прессованием при давлении 2 000 *кг/см*^{2} можно достигнуть плотности ее 1,63.

Мало растворимая в холодной воде, она значительно лучше растворяется в горячей (при 100° С — 9 весовых частей), еще лучше в спирте и бензоле. В растворенном состоянии она легко и прочно окрашивает ткани животного происхождения в яркожелтый цвет.

Имея кислотный характер, пикриновая кислота способна реагировать с различными металлами, заменяя на них свой водород в гидроксиле и образуя соли, получившие в технике наименование пикратов. Большинство пикратов значительно чувствительнее к внешним воздействиям, чем сама пикриновая кислота.

Пикриновая кислота химически стойка. Температура вспышки ее 300° С. На воздухе (без оболочки) она горит спокойно. В присутствии пикратов детонирует.

Чувствительность к механическим воздействиям у пикриновой кислоты довольно высокая. На копре (груз — 10 *кг*, высота — 25 *см*) она дает 32% взрывов. От прострела пулей взрывает. По восприимчивости к детонации, особенно в прессованном виде, стоит выше тротила. По своим взрывчатым свойствам пикриновая кислота превосходит тротил примерно на 10%, но ее сравнительно высокая чувствительность, особенно при наличии пикратов, которые могут образоваться в местах соприкосновения пикриновой кислоты с металлом оболочек, делает ее менее пригодной для снаряжения боеприпасов, чем тротил.

В настоящее время пикриновая кислота применяется преимущественно для изготовления подрывных зарядов. Ее сплавы с динитронафталином в пропорции от 20 до 50% имеют некоторое применение и для снаряжения артиллерийских снарядов и авиабомб.

2. **Тротил (ТНТ)** — бризантное ВВ, широко применяющееся в ряде стран в качестве основного ВВ для снаряжения боеприпасов. Тротил известен под различными названиями: тротил, тол (Англия), толит (Франция), тритоло (Италия), ТНТ (США).

Тротил представляет собой симметричный тринитротолуол $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$. Впервые он был получен в 1863 г. Вильбрандом и особенно подробно был изучен в 1891 г. Гейсерманом, который и разработал технические способы его фабрикации.

Тротил начали применять впервые в Германии с 1902 г. под маркой Fp 02, а затем и в других странах. В России он изготовляется с 1909 г.

Исходным материалом для получения тротила служит толуол $C_6H_5CH_3$. Толуол — подвижная жидкость; удельный вес его 0,86. Он содержится в продуктах коксования каменного угля, а также в нефти и продуктах ее переработки (пиролиза). Толуола получают около 0,1% от коксуемого угля; в нефти его содержится до 0,8%, а из продуктов пиролиза извлекают его до 5%. Таким образом, сырьевая база тротила довольно широка, однако она все же не удовлетворяет потребности в нем современной военно-химической промышленности.

Тротил получают путем нитрации толуола смесью азотной и серной кислот. Существуют периодические и непрерывные способы получения

тротила. Из периодических способов наиболее широкое распространение имеет получение тротила в три нитрации. По окончании нитрации образовавшийся тротил отделяют от кислот и подвергают промывке горячей водой для их удаления.

Промытый водой продукт, называемый тротилом-сырцом, имеет температуру затвердевания 76—77° С (температура затвердевания органических веществ — показатель их чистоты). Он содержит обычно около 5% примесей, сообщающих ему маслянистость. Маслянистость вредно сказывается на служебных качествах тротила; в процессе хранения снаряженных таким тротилом боеприпасов происходит постепенное (в местностях с жарким климатом — уже через несколько месяцев) выделение „тротилового масла" на поверхности разрывных зарядов в боеприпасах. В результате этого, с одной стороны, расстраивается монолитность разрывного заряда, что делает его опасным при стрельбе, а с другой стороны — масло, проникая в содержатели взрывателей, может флегматизировать их детонаторы, что вызовет отказы при стрельбе.

Для устранения этих недостатков тротил-сырец обычно подвергают очистке путем кристаллизации его из спирта (такой тротил называется в практике „спиртовым") или же промывке водным раствором сульфита натрия (такой тротил называют „сульфитным").

После очистки тротил сушат при температуре 70° С, укупоривают в ящики или мешки и отправляют на снаряжательные заводы или склады.

Тротил представляет собой твердое кристаллическое вещество обычно желтого цвета. Температура затвердевания технического продукта колеблется в пределах от 80°,2 С до 80°,5 С и должна быть не ниже 80° С. Удельный вес — 1,66. Тротил хорошо прессуется до плотности 1,61. При заливке в снаряды в зависимости от условий фабрикации плотность его колеблется в пределах от 1,56 до 1,60.

Тротил обладает очень небольшой гигроскопичностью и почти нерастворим в воде. С металлами он непосредственно не взаимодействует. Химически очень стоек. К действию высоких температур малочувствителен и подвергается частичному разложению лишь при длительном нагревании при температуре свыше 150° С. Температура вспышки тротила — около 300° С. На открытом воздухе при зажжении лучом огня тротил обычно горит коптящим пламенем, без взрыва. К механическим воздействиям тротил малочувствителен; при прострелe пулей он, как правило, взрывов не дает.

Восприимчивость тротила к детонации зависит в большой степени от того, в каком состоянии он применяется. Прессованный тротил легко детонирует от небольшего заряда инициирующего ВВ (0,38 *г* гремучей ртути или 0,15 *г* азида свинца); в практике же его подрывают обычно с помощью капсюля-детонатора. Для детонации же литого тротила требуется либо значительно более мощный капсюль-детонатор, либо система: капсюль — промежуточный детонатор, в качестве которого может, между прочим, служить прессованный тротил, но чаще всего применяется тетрил.

По взрывчато-техническим данным тротил немного уступает пикриновой кислоте. Однако большая безопасность тротила в применении обеспечила быстрое вытеснение им пикриновой кислоты из области снаряжения боеприпасов, где он широко применяется.

Из тротила также готовят стандартные заряды подрывного комплекта, так называемые подрывные шашки в 400, 200 и 75 *г*. Кроме того, тротил вместе с аммонийной селитрой входит в состав различных аматолов (см. следующий параграф), являющихся важнейшими суррогатными бризантными ВВ, широко применявшимися для снаряжения боеприпасов еще в первую империалистическую войну.

3. **Тетрил,** или **тринитрофенилметилнитрамин,** $C_6H_2(NO_2)_3N\begin{matrix}CH_3\\NO_2\end{matrix}$ был получен впервые Михлером в 1877 г., а с 1906 г. его стали изготовлять в Германии в заводском масштабе. В России он появился впервые в 1910 г.

Исходным материалом для получения тетрила служит диметиланилин $C_6H_5N(CH_3)_2$, производное анилина и метилового спирта. Для получения тетрила диметиланилин подвергают сначала сульфации и полученный продукт нитруют. Затем для очистки сырой тетрил подвергают кристаллизации из ацетона или бензола и сушат при температуре 60° С.

Тетрил представляет собой твердое мелкокристаллическое вещество бледножелтого цвета. Температура затвердевания технического продукта 127°,7 С, температура затвердевания химически чистого продукта около 128°,5 С. Удельный вес тетрила 1,73; он хорошо прессуется, причем могут быть достигнуты плотности от 1,58 до 1,65, в зависимости от давления. К снаряжению заливкой тетрил непригоден, так как он плавится с разложением.

Гигроскопичность и растворимость тетрила в воде незначительные. Химически он менее стоек, чем пикриновая кислота и тротил. Температура вспышки его около 190° С. Он значительно более чувствителен к механическим воздействиям, чем тротил и пикриновая кислота, и отличается большей восприимчивостью к детонации. По взрывчато-техническим характеристикам тетрил превосходит пикриновую кислоту примерно на 10%.

Наиболее важная область применения тетрила — изготовление детонаторов (прессованием) к различным боеприпасам; кроме того, он применяется в качестве вторичного заряда в капсюлях-детонаторах и в смеси с гремучей ртутью в детонирующих шнурах.

3. Суррогатные взрывчатые вещества

Для замены ВВ в случае их недостатка для снаряжения снарядов применяются суррогатные ВВ. Применявшиеся до сих пор суррогатные ВВ представляют собой смеси нитроароматических ВВ с аммонийной селитрой, являющейся хотя и слабым взрывчатым веществом, но весьма распространенным в народном хозяйстве продуктом. Вместе с тем повсюду ведутся изыскания суррогатных ВВ на иной сырьевой базе (хлораты, перхлораты, оксиликвиты и т. д.).

Аммонийную селитру получают в настоящее время в огромных количествах путем нейтрализации 50—65%-ной азотной кислоты аммиаком с последующим выпариванием раствора, кристаллизацией и сушкой селитры. Аммиак и азотную кислоту получают синтетически; источниками для этого служат атмосферный воздух и вода. Таким образом, сырьевая база для получения аммонийной селитры, в сущности говоря, неограниченна.

Аммонийная селитра NH_4NO_3 представляет собой твердое кристаллическое вещество, существующее в пяти кристаллических формах. Переход селитры из одной формы в другую сопровождается выделением тепла и изменением ее объема. Сухая аммонийная селитра плавится с разложением при температуре 169°,6 С. Селитра очень гигроскопична и хорошо растворяется в воде. При хранении в присутствии влаги аммонийная селитра слеживается, превращаясь с течением времени в сплошную каменистую массу. Слеживание есть результат впитывания влаги и последующего высыхания селитры при повышении температуры. Явление слеживания сохраняется и в аммонитах, приводя к значительному снижению их и без того невысокой восприимчивости к детонации.

Взрывчатые свойства аммонийной селитры весьма слабо выражены; реакция взрывчатого разложения показывает наличие в продуктах взрыва свободного кислорода. Поэтому при составлении взрывчатых смесей на основе этой селитры к ней добавляют различные горючие вещества, в частности нитроароматические соединения. Такие смеси обладают лучшими взрывчатыми свойствами, чем сама аммонийная селитра.

В военной технике аммонийно-селитренные ВВ, появившиеся еще в 60—70-х годах прошлого столетия, до первой империалистической войны не имели широкого распространения. Во время же войны вследствие огром-

ной потребности в бризантных ВВ и острого недостатка в них аммонийно-селитренные ВВ получили очень широкое применение для снаряжения боеприпасов. Наиболее известные аммониты, применявшиеся тогда и находящие применение сейчас для снаряжения боеприпасов, указаны в таблице 18.

Таблица 18

Составы суррогатных ВВ (в %)

Компоненты \ Составы	Аматол	Аммоксил	Аммонал	Беллит	Шнейдерит	Маисит	Гудронит
Аммонийная селитра	80	82	82	80	88	72	95
Тротил	20	—	—	—	—	—	—
Ксилил	—	18	12	—	—	—	—
Динитробензол	—	—	—	20	—	—	—
Динитронафталин	—	—	—	—	12	—	—
Пикрат аммония	—	—	—	—	—	28	—
Алюминий	—	—	6	—	—	—	—
Смола (гудрон)	—	—	—	—	—	—	5

Эти смеси по теплоте взрыва немного уступают тротилу, зато они заметно превосходят его по объему газообразных продуктов взрыва, в связи с чем по фугасному действию они превосходят тротил. По бризантному же, дробящему, действию перечисленные в таблице аммониты несколько уступают тротилу, так как скорость детонации их значительно ниже, чем у тротила: в среднем около 5000 *м/сек*. В итоге по своему общему взрывному действию все перечисленные составы более или менее уступают тротилу; впрочем, как показывают расчеты и опыт, при надлежащем подборе соотношения компонентов можно получить аммонал, не уступающий по взрывному действию тротилу. Что касается служебных качеств аммонийно-селитренных ВВ, то они характеризуются прежде всего качествами входящих в них компонентов.

Как и сама аммонийная селитра, все они в большей или меньшей степени гигроскопичны и могут слеживаться, благодаря чему понижается их восприимчивость к детонации. Последняя при плотностях 1,3 — 1,4 вполне удовлетворительна; при бо́льших же плотностях она заметно понижается. Температура вспышки аммонийно-селитренных составов несколько ниже, а чувствительность к механическим воздействиям больше, чем у входящих в их состав ВВ.

4. Снаряжение снарядов и авиабомб

Современные боеприпасы снаряжаются одним из следующих способов: 1) заливкой расплавленным ВВ; 2) механическим наполнением при помощи прессов различных конструкций и, наконец, 3) насыпкой — там, где это допускают условия службы боеприпаса.

К разрывному заряду современных артиллерийских снарядов предъявляются весьма жесткие требования в отношении его монолитности и скрепления со стенками корпуса. Считают, что наличие пустот в толще разрывного заряда (осевые раковины, трещины, пузырчатое строение отливки и т. п.) может вызвать раздробление ВВ от сотрясения в момент выстрела и взрыв в результате трения частей разрывного заряда. Точно так же плохое скрепление заряда с корпусом может повести к возникновению трения между ВВ и металлом и вызвать взрыв.

В отношении авиационных бомб эти требования могут быть, естественно, несколько снижены, но не сняты совсем, так как и здесь в случае неисправности разрывного заряда может произойти взрыв при ударе о грунт раньше, чем подействует взрыватель, что нежелательно.

Поэтому артиллерийские снаряды, а также крупные фугасные авиабомбы, снабженные взрывателями с замедлением, нельзя снаряжать насыпкой. Такой метод допустим лишь для ручных гранат, противотанковых мин, небольших осколочных авиабомб и т. п.

Снаряды и крупные авиабомбы снаряжают заливкой или механическим наполнением. Снаряды и авиабомбы средних калибров выгодно снаряжать механическим наполнением, а снаряды и авиабомбы крупных калибров (свыше 152 *мм* и 100 *кг*) — заливкой, так как создание для них соответствующего прессового оборудования для механического наполнения затруднительно.

Процесс снаряжения заливкой заключается в следующем. Прежде всего подготовляют к заливке корпуса, очищая наружную и внутреннюю поверхности их от ржавчины и покрывая лаком внутреннюю поверхность. После этого заливают отдельно корпус и головную часть объектов расплавленным „шимозированным" ВВ, т. е. ВВ, предварительно несколько охлажденным до начала выпадения первых кристаллов. Далее дают залитым объектам охладиться, соблюдая при этом определенный режим, обеспечивающий монолитность отливки. После этого при помощи специальных бронзовых или стальных фрез подравнивают залитые поверхности корпуса и головной части и свинчивают их вместе, положив на торцы картонные прокладки. Наконец, объекты окрашивают и наносят на них отличительные знаки и надписи.

Готовые объекты укупоривают и отправляют на склады.

Механическое наполнение производят при помощи аппаратов (прессов) самого разнообразного устройства. Еще в период первой империалистической войны в Англии, а затем в США был разработан специальный шнек-пресс для снаряжения боеприпасов взрывчатыми веществами в сыпучем виде. Прессующим и подающим ВВ механизмом в этом аппарате является архимедов винт (шнек), применяющийся в химической промышленности в качестве транспортера сыпучих веществ.

Подобные аппараты наиболее удобны для снаряжения боеприпасов суррогатными сыпучими ВВ.

ГЛАВА V

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОРОХАХ

1. Классификация порохов

Понятием „порох" обозначают группу метательных ВВ, применяемых в огнестрельном оружии для сообщения снаряду энергии движения.

Прежде пороха делили на два типа: дымные и бездымные. К первым относили тесную смесь селитры, угля и серы, а ко вторым — нитроцеллюлозу (пироксилин), обработанную разнообразными растворителями, или, как говорят, нитроцеллюлозу, превращенную в „пороховой гель" (твердый коллоид).

В настоящее время пороха на основе нитроцеллюлозы называют „порохами коллоидного типа", что более точно характеризует их свойства.

Современная классификация порохов представляется в следующем виде:

1) пороха — механические смеси;
2) пороха — коллоидные системы.

К первой группе относятся:

а) селитро-сероугольный (дымный) порох;
б) аммонийный порох;
в) порох, подобный по составу дымному, но с некоторыми добавками.

Ко второй группе относятся:
а) порох на летучем растворителе;
б) порох на труднолетучем растворителе;
в) порох на нелетучем растворителе.

Пороха коллоидного типа иногда также подразделяют на пороха пироксилиновые и нитроглицериновые. К первым относятся пороха, получаемые обработкой пироксилина летучим растворителем, например смесью спирта с эфиром. Вторые получаются в результате превращения пироксилина в коллоидную массу путем обработки его труднолетучим растворителем, например нитроглицерином.

2. Дымный порох

Состав и назначение компонентов. Селитро-сероугольный порох, в огнестрельном оружии впервые получивший применение в XIV веке, был известен в глубокой древности. Кем и когда он был изобретен, остается невыясненным.

Претерпев ряд изменений, состав дымного пороха с конца XVIII века окончательно установился в следующем соотношении компонентов: 75% калиевой селитры, 15% угля и 10% серы.

Назначение этих составных частей в порохе следующее: селитра дает кислород для сжигания горючего — угля; сера — цементатор смеси; кроме того, сера, обладая более низкой температурой воспламенения, чем уголь, облегчает процесс воспламенения пороха. Калиевую селитру берут для изготовления пороха как менее гигроскопичную в сравнении с другими селитрами. Уголь получают путем обжига несмолистых пород дерева (ольха, крушина). Качество древесины и степень обжига угля предопределяют и качество пороха. По степени обжига различают угли: черный, бурый и шоколадный. Понижение степени обжига приводит к снижению скорости горения угля и пороха, изготовленного на его основе.

Фабрикацию пороха начинают с тщательного измельчения составных частей и их смешения во влажном виде (примочка водой) под тяжелыми катками — бегунами. Полученную бегунную лепешку дробят и подвергают прессованию на гидравлических или механических прессах, иногда с обогреваемыми паром прессующими поверхностями. Прессовая лепешка поступает затем в зернильные машины, в которых она превращается в зерна, одновременно сортируемые по размерам, а затем зерна полируют в специальных вращающихся полировальных барабанах. Во время вращения этих барабанов зерна, пересыпаясь, ударяются друг о друга, углы их обламываются, а образующаяся пороховая пыль забивается во все поры зерен, благодаря чему они с поверхности уплотняются. Иногда в полировальный барабан добавляют порошкообразный графит, покрывающий зерна пороха тонкой пленкой. Военные пороха обычно не графитуют. После полировки порох очищают от пыли, для чего его помещают в полотняные мешки, подвергаемые тряске в особых аппаратах. Затем порох сортируют по размерам зерна на сорта. Различают: крупнозернистый артиллерийский и ружейный пороха. Имеется также призматический порох в виде шестигранных призм с одним или семью каналами.

Сорта дымных порохов и их применение. Изготовляемые в настоящее время дымные пороха подразделяют на две основные группы: а) военные пороха и б) невоенные пороха.

Военные дымные пороха применяются: а) в качестве воспламенителей для зарядов из порохов коллоидного типа, а также, для этих же целей, в капсюльных втулках и трубках; б) для вышибных зарядов в шрапнелях, осветительных, зажигательных и агитационных снарядах (ружейный порох); в) в дистанционных частях дистанционных трубок и взрывателей (трубочный порох); г) во всякого рода предохранителях, замедлителях

и усилителях огня в трубках и взрывателях, дистанционных снарядах (специально запрессованный ружейный порох) и, наконец, д) в огнепроводных бикфордовых шнурах (шнуровой порох).

Непосредственно для стрельбы из военного оружия дымный порох сейчас не применяется.

Невоенные пороха разделяются на: 1) охотничьи и 2) минные, применяемые в подрывном деле. В настоящее время минные пороха употребляются в очень ограниченном размере, так как они по рентабельности далеко уступают дешевым аммонитам.

Важнейшие характеристики дымных порохов. Дымный порох представляет собой сравнительно слабое ВВ, уступающее по силе, например, пироксилиновому пороху раза в три.

Относительно малочувствительный к удару и трению, он очень легко воспламеняется под действием пламени и искры, хотя температура вспышки его довольно высокая, 300° С. Удар молнии всегда вызывает взрыв дымного пороха. Зажженный в небольших количествах, порох только вспыхивает; горение же больших масс его всегда переходит во взрыв; особенно взрывоопасна пороховая пыль.

При обращении с дымным порохом всегда следует соблюдать особую осторожность, так как после нитроглицерина это наиболее легко взрывающееся ВВ.

Зерна дымного пороха разрушаются при увлажнении, теряя способность к воспламенению при содержании влаги свыше 15%; нормальная влажность дымных порохов лежит в пределах 0,7—1,2%. Поэтому дымные пороха и изделия из них нужно предохранять от увлажнения.

3. Трубочные пороха

В настоящее время различают: а) обыкновенный трубочный порох (ОТП) и б) медленногорящий трубочный порох (МГП).

Обыкновенный трубочный порох имеет следующий состав: 73—75% калиевой селитры, 9,5—10,5% серы, 17,5—14,5% угля.

Медленногорящий трубочный порох можно получить: а) уменьшением количества селитры за счет увеличения количества серы и угля; б) применением угля с меньшим содержанием углерода, т. е. меньшей степени обжига; в) увеличением плотности пороха и, наконец, г) применением примесей (канифоль, шеллак, битум или парафин в количестве 1—2%).

К трубочным порохам предъявляют следующие требования: 1) строго определенной скорости горения, обеспечивающей малое рассеивание трубок; 2) незатухаемости пороха на больших высотах и 3) стабильности при хранении.

4. Коллоидные пороха

1. Пороха на летучем растворителе. Пороха коллоидного типа на летучем растворителе, иначе называемые бездымными пироксилиновыми порохами, состоят главным образом из нитроклетчатки (пироксилина), являющейся основой всех бездымных порохов. В зависимости от назначения бездымные пироксилиновые пороха могут содержать:

Летучие вещества	от 1 до 5—6%
из них:	
остаточный растворитель	от 0,2 до 4%
влажность	„ 1 „ 2%
Стабилизатор	1%
Пироксилин	остальное

В винтовочные пороха и пороха для малокалиберной артиллерии, помимо того, вводят еще вещества, замедляющие горение наружных слоев пороховых зерен (камфора, динитротолуол). Этими веществами обрабатывают поверхностные слои пороха. Такие пороха носят название флегматизированных. Иногда пороха графитуют для достижения лучшей сыпучести, обеспечения более плотной насыпки их в гильзу и устранения слипания зерен вследствие электризации. Графитовке могут подвергаться пороха и нефлегматизированные.

Нитраты целлюлозы как основа всех бездымных порохов. Нитраты целлюлозы получают путем обработки очищенной целлюлозы (клетчатки) из хлопка, его отбросов или из древесины азотной кислотой в присутствии серной. Этот процесс, как уже упоминалось, называется нитрацией.

На пороховых заводах нитрацию осуществляют в центрофугах или специальных нитраторах. Процесс нитрации идет тем энергичнее, чем крепче азотная кислота. Серная кислота применяется лишь для связывания выделяющейся при реакции воды, что содействует более быстрому и энергичному ходу нитрации; без серной кислоты вода, понижая крепость азотной кислоты, могла бы вовсе остановить ход процесса. В результате нитрации получается смесь близких по составу нитратов целлюлозы.

При нитрации имеет место обменная реакция, при которой группа NO_2 из состава азотной кислоты переходит к клетчатке, замещая в ней водород гидроксильных групп (OH). Этих групп в элементарной частице клетчатки 3, а потому замещение может итти до 3 нитрогрупп включительно или до 12, если принять формулу клетчатки $(C_6H_{10}O_5)_4$. Условия нитрации — температура и состав нитрационной ванны — обеспечивают насыщение клетчатки тем или иным количеством нитрогрупп. Чем больше их войдет в молекулу клетчатки, тем нитраты целлюлозы как ВВ получаются более мощными. Поэтому для характеристики взрывчатых свойств нитратов целлюлозы обычно указывают содержание в них нитрогрупп или процентное содержание азота.

Одиннадцати- и десятиазотные нитраты целлюлозы с содержанием азота 13,5—12,75% и называются в технике собственно пироксилинами.

Количество азота определяет и другое важное свойство нитрата целлюлозы, а именно: его способность растворяться в спирто-эфирном растворителе. Нитраты с содержанием азота свыше 13,5% вовсе нерастворимы в этом растворителе. Нитраты же с содержанием азота от 11 до 12,75% растворяются в спирто-эфирной смеси почти на 100%.

Нитрованная клетчатка по внешности мало отличается от целлюлозы.

Вследствие волокнистого строения нитрат целлюлозы (пироксилин) после нитрации удерживает большое количество кислотной смеси, которую сначала отжимают, а затем отмывают. Этот процесс очистки нитрата носит название стабилизации. Она заключается: а) в многократных промывках нитрата (пироксилина) холодной, кипящей и щелочной (содовой) водой; б) в измельчении его волокон в мезгу с одновременной промывкой в особых аппаратах—голландерах—для облегчения последующего вымывания кислот, проникших внутрь волокон; в) в повторных (после измельчения) холодных, горячих и содовых промывках.

Готовый продукт отжимают на центрофугах до содержания влажности около 30% и в таком виде хранят до использования в пороховом производстве.

Влажный пироксилин, с содержанием влаги 18—25%, малочувствителен, а потому безопасен в обращении и при хранении; он не взрывает и не воспламеняется от удара ружейной пули, от пламени или раскаленного тела. Горит почти всегда без взрыва. В прессованном виде его можно сверлить и строгать.

Сухой пироксилин, с содержанием влаги до 3%, напротив, очень чувствителен, а потому взрывоопасен. В малых количествах сухой пироксилин от пламени лишь вспыхивает и быстро сгорает, давая яркожелтое пламя. Горение пироксилина в больших количествах обычно заканчивается взрывом. Заключенный в оболочку в любых количествах, он при воспламенении дает взрыв. Удары и трение по сухому пироксилину также могут вызвать его взрыв; поэтому шашки прессованного сухого пироксилина нельзя ни строгать, ни сверлить.

Взрыв капсюля с гремучей ртутью вызывает детонацию сухого пироксилина. Влажный пироксилин при этих условиях не взрывает, но от взрыва сухого пироксилина он детонирует даже с большей силой, чем сухой пироксилин.

Оба эти сорта пироксилина отличаются друг от друга и по стойкости. Влажный пироксилин при надлежащем хранении может сохранять свои свойства десятки лет. Замерзший влажный пироксилин по взрывчатым свойствам приближается к сухому.

Типы пироксилинов, применяемых для изготовления порохов, указаны в таблице 19.

Таблица 19

Наименование пироксилина	Содержание азота в %	Растворимость в спирто-эфирной смеси (1 : 1,5) в %
№ 1 или А (нерастворимый) . . .	Не менее 13,0	2—10
Пироколлодий высокоазотный . .	12,76 — 12,90	Около 80
Пироколлодий нормальный	12,45 — 12,54	„ 99
№ 2 или Б (растворимый)	12,00 — 12,70	92—97

5. Фабрикация бездымных пироксилиновых порохов и их физико-химические свойства

Сущность процесса получения порохов коллоидного типа заключается в переводе бризантного ВВ—пироксилина, путем обработки растворителем, в пластическую массу, поддающуюся механической обработке, в частности, способную при прессовании принимать определенную форму. Пироксилин при этом переходит в роговидное, коллоидное, физически однородное состояние, благодаря чему он приобретает способность гореть параллельными слоями даже при больших давлениях, развивающихся в канале оружия. До момента полного сгорания порох сохраняет форму, подобную первоначальной, не распадаясь на мелкие частицы, чем обеспечивается определенная закономерность процесса горения и газообразования.

Бездымный порох изготовляют из смеси растворимого и нерастворимого пироксилинов или из пироколлодия. В СССР пороха готовят из смесевых пироксилинов, в США—из пироколлодия.

При изготовлении порохов из смеси пироксилинов изменяют их соотношение в зависимости от того, какой силы и скорости горения желают получить порох. Пушечные пороха получают из смеси пироксилинов со средней растворимостью около 40%. Быстрогорящий и несколько более мощный винтовочный порох получают из смеси со средней растворимостью около 25%.

Смешанный в требуемой пропорции пироксилин при изготовлении пороха подвергают следующим операциям.

1. Обезвоживание. Эта операция заключается в вытеснении воды из пироксилиновой мезги, содержащей ее до 30%, спиртом в центрофугах или на специальных прессах. Для того чтобы пироксилин можно было желатинизировать, содержание воды в нем доводят до 2—4%.

2. Смешение пироксилина с растворителем. Пропитанный спиртом пироксилин смешивают с эфиром в таком количестве, чтобы

отношение спирта к эфиру было равно 1:1,5. В специальных аппаратах—мешателях —пироксилиновую мезгу тщательно перемешивают, что содействует лучшему растворению и достижению большей однородности продукта. Соотношение между пироксилином и растворителем берется равным 1:1. По мере растворения пироксилина № 2 и обволакивания образовавшимся раствором пироксилина № 1 все содержимое мешателя постепенно густеет и принимает вид теста или желеобразной массы, отчего процесс этот и называют желатинизацией.

3. Прессование пороха. После примерно 2-часового перемешивания массу подвергают прессованию, обычно на гидравлических прессах, в которых порох продавливается через узкие отверстия специальных матриц. В зависимости от конструкции матриц пороховой массе придается форма трубочек, цилиндров (с одним или несколькими каналами) или лент. Кроме того, во время прессования завершается процесс желатинизации пироксилина.

4. Провялка. Порох по выходе из пресса содержит до 60% растворителя, который удаляют до содержания 15—18% провялкой в шкафах, через которые пропускают ток воздуха.

5. Резка. Эту операцию производят на специальных резательных автоматах. Она имеет целью придать пороховым лентам или трубкам требуемую длину.

6. Переборка и разымка (сортировка), производимые вручную или на станках, имеют целью удаление дефектных зерен или лент.

7. Вторая провялка. Эта операция совершенно аналогична вышеописанной. Две провялки производят только при получении „толстых" порохов; пороха же „тонкие" подвергают обычно одной провялке, проводимой после резки. Тогда переборку и разымку производят после провялки.

8. Вымочка. Вымочку производят в холодной или теплой воде для быстрого удаления избыточного растворителя до содержания его в порохе в количестве 2—3%. Раньше избыточный растворитель удаляли длительной сушкой.

9. Сушка. После вымочки порох для удаления воды сушат при температуре 40—50° С.

10. Увлажнение. Сухой порох увлажняют с целью доведения в нем влажности до нормы (обычно 1—2% в зависимости от толщины пороха).

11. Мешка пороха заключается в смешении малых партий пороха, полученных на различных аппаратах, в одну общую. Этой операцией обеспечивают однородность и однообразие качеств в различных частях одной так называемой „общей" партии пороха.

12. Укупорка. Пороха коллоидного типа укладывают в герметически закрываемые металлические короба, помещаемые в деревянных футлярах. Это необходимо для того, чтобы остаточный растворитель не улетучивался из пороха и чтобы в нем не изменялось содержание влаги, что отрицательно влияло бы на балистическое постоянство пороха.

До приема на службу в Красную Армию и направления на склад порох подвергают „приемным испытаниям", производимым военным представителем (приемщиком). Во время этих испытаний точно устанавливают соответствие изготовленной партии пороха техническим условиям Артиллерийского управления.

6. Свойства пироксилиновых бездымных порохов

По наружному виду зерна пороха имеют цвет от желтого до темно-бурого. Хорошо желатинизированный порох должен быть прозрачным. Допускается, чтобы на свету в пороховом зерне были видны вкрапления нерастворенного пироксилина. Поверхность зерен должна быть гладкой, ровной, без трещин и заусенцев. Зерна должны быть прочными и иметь роговидное строение. Удельный вес пороха разных сортов колеблется в пределах 1,54—1,63. С уменьшением содержания летучих веществ в порохе удельный вес его увеличивается.

Гравиметрическая плотность[1] винтовочных порохов 0,890 *кг/л*, а пушечных—от 0,640 до 0,825 *кг/л*. Гравиметрическая плотность пороха растет с увеличением его удельного веса и зависит главным образом от формы и размера зерен. Полировка и графитовка пороховых зерен способствуют повышению гравиметрической плотности. В частности, повышение этими методами гравиметрической плотности винтовочного пороха с 0,6 до 0,8 позволило при том же объеме гильзы увеличить заряд с 2,5 *г* до 3,4 *г* и тем самым повысить начальную скорость пули с 615 до 800 *м/сек*.

Бездымный порох не растворим в воде. Гигроскопичность его сравнительно невелика: при самых неблагоприятных условиях — открытом хранении во влажном воздухе — порох втягивает в себя около 2% влажности, которая легко выделяется из него при изменении условий хранения (сухой воздух).

Излишне увлажненный порох может давать неполное сгорание зерен при выстреле.

Температура вспышки пироксилинового пороха 185—200° С. Продукты взрыва бездымных порохов все газообразны. В состав их входят главным образом углекислый газ, водяные пары, окись углерода, метан, свободный водород, азот и аммиак.

Наличие в продуктах разложения окиси углерода делает их ядовитыми, почему при стрельбе из закрытых помещений (башен, казематов) необходимо принимать меры для их вентиляции. 1 *кг* дымного пороха выделяет не более 280 *л* газообразных продуктов, а 1 *кг* бездымного пороха—около 900 *л*. Количество выделяющегося тепла у бездымных порохов достигает 765—1 150 *Кал* на 1 *кг* ВВ.

При стандартном качестве пироксилина и при нормальных условиях изготовления и хранения пороха стойкость его может быть сохранена в течение одного-двух десятилетий. Для увеличения стойкости в состав пироксилиновых порохов обязательно вводят стабилизатор—дифениламин—в количестве 0,75—1%.

Бездымные пороха бывают различной формы: короткие цилиндрики с одним и семью канальцами, длинные трубки с одним канальцем, ленты, пластинки и т. д. Путем подбора соответствующей формы и размеров зерна, равно как и выбора пироксилина с тем или иным содержанием азота, а также изменением содержания летучих можно почти всегда изготовить порох, удовлетворяющий поставленным ему балистическим требованиям.

7. Специальные виды порохов

Порохами специального назначения называют быстросгорающие пороха, пороха, обладающие повышенной прогрессивностью горения и др.

Быстросгорающие пороха необходимы для короткоствольного оружия (револьверы, минометы) и для холостых артиллерийских выстрелов. Чем меньше длина оружия, тем меньше времени снаряд двигается по каналу и тем более быстро сгорающий порох необходимо применять для него.

Такие пороха получают путем уменьшения толщины горящего свода пороховых зерен, уменьшения в порохе содержания летучих веществ, а также путем изготовления его из пироксилина с большим содержанием азота. Иногда с целью увеличения скорости горения в состав пороха вводят специальные окислители.

К быстросгорающим порохам относятся также так называемые пористые пороха, для получения которых в пороховой состав вводят определенный процент калиевой селитры. После обработки такого пороха водой селитра из него удаляется, оставляя в нем большое число микроскопических пор, благодаря чему он легко воспламеняется и горит с особой быстротой.

[1] Гравиметрической плотностью называют вес (в *кг*) единицы объема (обычно 1 *л*) пороха, свободно насыпанного в сосуд этого объема.

Примером такого пороха может служить порох марки П-220, применяемый для дополнительного заряда гранаты Дьяконова. Пористые пороха обычно обозначают буквой П с числовым индексом, показывающим количество селитры, взятой на 100 весовых частей пироксилина.

Пороха повышенной прогрессивности горения дают возможность получать большие начальные скорости (V_0) без повышения максимального давления (P_m) за счет увеличения веса заряда. Например, при стрельбе из 7,62-*мм* винтовки непрогрессивным порохом при весе заряда $\omega = 2{,}52$ *г* начальная скорость пули V_0 была 786 *м/сек*, а давление $P_{max} = 2840$ *кг/см*^{2}. При применении более прогрессивно горящего пороха заряд этой винтовки удалось увеличить до 3,25 *г*, благодаря чему начальная скорость V_0 увеличилась до 840 *м/сек*, а давление осталось прежним.

Прогрессивность горения порохов может быть повышена: а) изменением формы порохового зерна; б) изменением состава пороха в различных слоях зерна путем уменьшения содержания азота в пироксилине поверхностного слоя или путем введения в него инертных замедлителей горения, называемых обычно флегматизаторами (камфора, динитротолуол и др.). Процесс введения флегматизаторов называют флегматизацией, а пороха такого рода — флегматизированными. Обычно флегматизации подвергают лишь винтовочные пороха и в исключительных случаях пороха для малокалиберной артиллерии. Пороха для орудий средних и больших калибров обычно не флегматизируют, так как флегматизация ухудшает балистическое постоянство порохов и понижает их силу. Винтовочные пороха флегматизируют обычно путем обрызгивания спиртовым раствором камфоры во вращающемся барабане.

8. Пламя при выстреле и способы его устранения

Все пироксилиновые и нитроглицериновые пороха дают при выстреле пламя вследствие того, что в продуктах взрывчатого их разложения имеются горючие газы: окись углерода (CO), водород (H_2) и метан (CH_4), загорающиеся на воздухе. Высокая температура (около 900° С) и давление (около 500—800 *кг/см*^{2}) вылетающих из оружия газов способствуют их воспламенению. Выбрасываемые вместе с газами твердые частицы (например несгоревшие пороховые зерна) создают очаги воспламенения. Кроме пламени, получаемого при выстреле у дула (дульное пламя), может получиться и обратное пламя от сгорания газов, вылетающих назад при открывании затвора. Дульное пламя, достигающее у орудий среднего калибра длины 3—5 *м*, демаскирует орудие и ослепляет орудийный расчет. Обратное пламя, в особенности при стрельбе из закрытых помещений, может причинить ожоги обслуживающему орудие личному составу.

Образование дульного и обратного пламени при выстреле зависит прежде всего от состава пороха. Чем выше в порохе содержание азота, тем больше при его разложении выделяется тепла, тем выше температура вылетающих газов и тем больше пламя при выстреле. Наоборот, наличие в порохе большого количества инертных примесей (централит, дифениламин, камфора, графит, вазелин и т. п.) и низкое содержание азота способствуют снижению пламенности выстрела. Так, при содержании азота менее 12% количество тепла, выделяющееся на 1 *кг* пороха, меньше 700 *Кал*, и выстрелы таким порохом получаются почти беспламенными.

На пламенность выстрела оказывают влияние и такие балистические факторы, как условия воспламенения заряда и скорость горения пороха. Хорошее воспламенение способствует уменьшению пламени, так как при этом быстрее и полнее сгорает заряд. Точно так же, чем больше скорость горения пороха, тем бóльшая часть его энергии перейдет в механическую работу и тем ниже, следовательно, будет

температура газов и давление у дула. Кроме того, в этом случае будет и меньше несгоревших зерен.

Конструктивные данные артиллерийской системы также весьма существенно влияют на пламенность выстрела. Замечено, например, что уменьшению пламени способствуют уменьшение калибра, увеличение веса снаряда, увеличение длины ствола и уменьшение каморы, т. е. увеличение плотности заряжания, так как все это приводит к более резкому охлаждению пороховых газов к моменту выхода их из дула.

Наконец, на появление пламени при выстреле оказывают влияние и атмосферные условия. Чем больше кислорода у дула, тем легче происходит воспламенение газов. Ветер способствует образованию пламени, ускоряя смешение горючих газов с кислородом. Дождь уменьшает пламенность выстрела, так как капли воды отнимают тепло от горючих газов и снижают их температуру.

Таковы основные факторы, влияющие на пламенность выстрела и указывающие пути борьбы с этим явлением. Таких путей в основном два: физические и химические способы гашения пламени.

Первые заключаются в прикреплении к дулу оружия различных надульников и дульных тормозов, предназначаемых для поглощения части энергии вылетающих газов. Дульные тормозы в то же время препятствуют смешению пороховых газов с воздухом до их достаточного охлаждения, а также смягчают удар пороховых газов в атмосферу.

К химическим методам достижения беспламенности выстрела относятся:

1. Понижение температуры выходящих газов путем снижения температуры взрывчатого разложения пороха, что достигается введением в порох инертных (невзрывчатых) примесей. Такими примесями могут быть: уголь, жирные углеводороды (например вазелин), жирные кислоты и их эфиры, смолы и нитросмолы, ароматические соединения (например дибутилфталат) и их нитропроизводные (например динитротолуол). Эти вещества при разложении пороха отнимают кислород от пироксилина и, образуя продукты неполного горения, тем самым понижают общее количество тепла, а следовательно, и температуру вылетающих газов.

2. Изменение состава пороховых газов в сторону уменьшения в них горючих газов. Принцип гашения пламени по этому методу является обратным предыдущему. В данном случае в порох вводят окислители, чаще всего калиевую селитру KNO_3, аммонийную селитру NH_4NO_3, соли хромовой и марганцевой кислот $K_2Cr_2O_7$, $KMnO_4$ и др. Газообразные продукты неполного сгорания пороха окисляются кислородом этих солей в продукты полного сгорания, почему в составе газов, вылетающих из орудия, горючих газов оказывается уже мало, и пламени поэтому не образуется вовсе или оно едва заметно.

3. Повышение температуры воспламенения горючих газов. Температура вылетающих из канала орудия горючих газов, как правило, бывает выше температуры их воспламенения, а потому они при соприкосновении с воздухом немедленно загораются. Если бы температура воспламенения газов была выше той температуры, при которой они вылетают из канала, то газы, естественно, не загорелись бы. Для повышения температуры воспламенения газов, вылетающих из канала ствола, в порох вводят соли щелочных металлов, например KCl, KJ, KBr, K_2SO_4, K_2CO_3, KHC_2O_4, которые, вылетая при выстреле вместе с газами, как бы создают „холодные очаги", разрывают непрерывность в цепи газовых реакций и тем самым повышают температуру воспламенения горючих газов.

Указанные три принципа пламегашения используются для получения: 1) беспламенных порохов; 2) пламегасящих порохов и 3) пламегасящих добавков — пламегасителей.

Беспламенным называется порох, в состав которого введены при фабрикации пламегасящие вещества. При стрельбе таким порохом получается беспламенный выстрел без каких-либо дополнительных добавков к заряду. По балистическим качествам такой порох не должен отличаться от обыкновенного. Вот, например, рецептура беспламенного пороха, известная из американской литературы:

Пироксилина (13,5% азота)	85 частей
Динитротолуола	10 »
Дибутилфталата	5 »
Дифениламина	1 часть
Сернокислого калия	0,3—0,5 части

Это — порох комбинированного действия: теплота его взрывчатого разложения уменьшена в результате добавки динитротолуола и дибутилфталата, а температура воспламенения горючих газов повышена введением сернокислого калия.

Пламегасящим называется порох, содержащий около 50% пламегасящих веществ. Например, если в упомянутом выше беспламенном порохе взято 50 частей сернокислого калия вместо 0,3—0,5 части его, то такой порох будет называться пламегасящим. Для гашения пламени его добавляют при изготовлении зарядов к обыкновенному пламенному пороху в количестве 10—20% от веса последнего.

Наконец, пламегасители представляют собой какие-либо инертные пламегасящие добавки, которые перед заряжанием вводятся в нормальный заряд в количестве от 5 до 10%. Пламегасители могут применяться лишь в орудиях с раздельным заряжанием или в орудиях, снабженных специальными разъемными гильзами.

Принцип действия пламегасителя такой же, как у беспламенного пороха, т. е. вводимые в заряд вещества понижают температуру взрывчатого разложения или повышают температуру воспламенения горючих газов. Обычно в качестве пламегасителей применяют следующие вещества: бикарбонат натрия $NHCO_3$, хлористый калий KCl, виннокислый калий $KC_4H_5O_6$, нафталин $C_{10}H_8$ и др.

Недостатком этих средств является их дымность. Появляющееся большое облако дыма при стрельбе зарядами с такими порохами и пламегасителями в дневное время демаскирует стреляющую батарею и мешает наводке орудий.

9. Пороха на труднолетучем растворителе (нитроглицериновые пороха)

К разряду порохов на труднолетучем растворителе относятся пороха, которые в своем составе содержат нитроглицерин (в количестве от 20 до 60%), являющийся растворителем пироксилина. В зависимости от содержания нитроглицерина различают в основном два сорта нитроглицериновых порохов:

1) пороха с высоким содержанием нитроглицерина (40—60%);
2) пороха со средним содержанием нитроглицерина (20—30%).

По составу и способу изготовления нитроглицериновые пороха делятся на две группы: кордиты и балиститы.

Кордитные пороха (от английского слова cord — шнур) состоят из пироксилина с высоким содержанием азота, нитроглицерина, остаточного летучего растворителя (обычно ацетона), стабилизатора и незначительного количества влаги. Когда было установлено, что при стрельбе порохом с большим содержанием нитроглицерина увеличивается разгар орудийных стволов, стали изготовлять для стрельбы из среднекалиберных орудий кордиты с меньшим содержанием нитроглицерина.

Балиститные пороха состоят из низкоазотного пироксилина, нитроглицерина, стабилизатора (централита) и нитропроизводных арома-

тического ряда, как динитротолуол, динитронафталин и т. п. Типичным представителем порохов этого класса может служить германский трубчатый балистит состава: пироксилина — 63%, нитроглицерина — 27%, нитропроизводных — 4,4%, стабилизатора (централита) — 4,7%, влажности — 0,9%.

Назначение отдельных компонентов в балиститах следующее. Пироксилин, как и в кордитах, образует основу пороха и придает ему механическую прочность, а нитроглицерин является не только источником энергии вместе с пироксилином, но и единственным его растворителем, так как низкоазотный пироксилин хорошо желатинизируется нитроглицерином и образует с ним роговидную пластическую массу. Нитропроизводные добавляют в порох с целью понижения температуры его взрывчатого разложения и уменьшения разгара ствола орудия. Нитропроизводные придают пороху большую твердость. В качестве стабилизатора в балиститах обычно применяют централит, обладающий также и некоторой желатинизирующей способностью.

В отдельные сорта балистита, кроме того, вводят некоторое количество (2—5%) вазелина, облегчающего прессование пороха и понижающего температуру его взрывчатого разложения.

Технологический процесс изготовления балиститов резко отличается от технологического процесса изготовления кордитов и пироксилиновых порохов.

Процесс изготовления балиститов более прост и менее длителен. Он состоит из следующих трех основных операций: а) смешение пироксилина с нитроглицерином, а также с прочими составными частями, под водой в смесителе; б) обработка массы на вальцах с целью ее желатинизации, и в) прессование пороховых элементов.

По сравнению с пироксилиновыми нитроглицериновые пороха имеют следующие преимущества:

1) быстрота фабрикации, измеряемая часами (6—7 часов), тогда как для изготовления пироксилинового пороха требуется по крайней мере десять дней;

2) более низкая (на 20—30%) стоимость этих порохов по сравнению с пироксилиновыми;

3) их бо́льшая сила.

Однако этим порохам присущи и очень существенные недостатки, а именно:

1) большая температура взрывчатого разложения пороха, приводящая к более быстрому износу стволов (при большом содержании нитроглицерина);

2) большая опасность изготовления нитроглицерина и пороха;

3) возможность при резких колебаниях температуры выпотевания нитроглицерина из пороховой массы, или, как говорят, его эксудации.

Устранение этих недостатков нитроглицериновых порохов вполне возможно. Так, для борьбы с износом стволов прибегают к введению в порох инертных добавков, понижающих температуру его разложения. Опасность технологического процесса может быть значительно снижена введением непрерывного процесса получения нитроглицерина, а эксудация нитроглицерина может быть устранена надлежащими условиями хранения порохов.

Нитроглицерин $C_3H_5(ONO_2)_3$, применяемый в пороховом производстве, получают нитрацией глицерина $C_3H_5(OH)_3$, представляющего собой трехатомный спирт; 100 весовых частей глицерина дают 230 весовых частей нитроглицерина. Азота в нем содержится около 18,5%. Нитроглицерин при обычной температуре — маслянистая жидкость, весьма чувствительная к удару и нагреванию.

Применяемый в большинстве стран в качестве труднолетучего растворителя для производства нитроглицериновых порохов, нитроглицерин, кроме того, широко используется для приготовления нитроглицериновых ВВ — динамитов. К последним относятся гремучие студни

и желатины, т. е. желатинированные нитроглицерином нитроклетчатки низших степеней нитрации (так называемые коллоксилины), и порошкообразные динамиты, являющиеся смесями нитроглицерина с различными поглотителями: селитрами, горючими, различными минеральными солями или пористыми землями (например кизельгур-динамиты).

ГЛАВА VI

МАРКИ ПОРОХОВ И УСТРОЙСТВО ЗАРЯДОВ. ХРАНЕНИЕ ПОРОХОВ И ИХ СУРРОГАТИРОВАНИЕ

1. Балистические свойства порохов в зависимости от формы порохового элемента. Подбор порохов к огнестрельному оружию

Внутренняя балистика устанавливает, что быстрота газообразования зависит от формы зерна, свойств пороха и условий, при которых происходит его сгорание. В соответствии с тем, убывает ли поверхность зерна по мере его сгорания, остается ли она постоянной или возрастает, пороха можно разделить: а) на пороха дегрессивной формы; б) пороха с постоянной поверхностью горения и в) пороха прогрессивной формы.

По мере сгорания зерен количество газов, образующихся за равные промежутки времени, для дегрессивных порохов уменьшается очень быстро, для порохов с постоянной поверхностью горения практически остается постоянным и для порохов прогрессивных увеличивается.

К первым относятся пороха, имеющие форму пластинки, куба, прута или шара. На практике применяются лишь пороха пластинчатой формы и в форме прутов.

К порохам второго типа относятся трубчатые пороха, а также отчасти пороха в виде длинных лент. Трубка горит почти без изменения поверхности. Преимущество трубки заключается еще в том, что она хорошо воспламеняется и удобна для составления зарядов орудий с длинной каморой. Поэтому все нитроглицериновые, а также пироксилиновые пороха для судовых длинноствольных орудий делают трубчатой формы.

Наконец, к третьему типу порохов относятся зерненые пороха американской формы с одним или с семью каналами.

В настоящее время широкое применение имеют зерна с каналами. Зерненые пороха удобны в технологическом отношении, так как при их изготовлении получается значительно меньше брака, чем, например, при изготовлении трубчатых порохов.

Однако в зависимости от вида огнестрельного оружия и его конструктивных особенностей приходится применять не только пороха прогрессивной формы или пороха с постоянной поверхностью горения, но и пороха дегрессивной формы. Так, например, необходимость достигнуть очень быстрого сгорания пороха в огнестрельном оружии с коротким стволом или при холостом артиллерийском выстреле заставляет применять тонкий пластинчатый порох.

Пластинчатые нитроглицериновые пороха находят также применение в зарядах минометов.

Флегматизированный порох в виде цилиндриков с одним каналом применяется в ручном оружии с длинным стволом (винтовки, пулеметы).

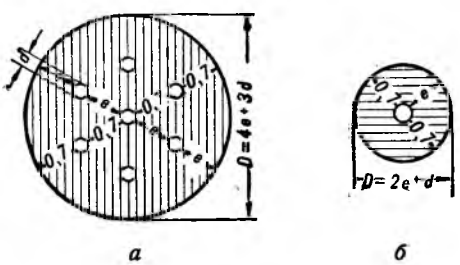
Зерненые пороха с одним и семью каналами применяются в орудиях малых и средних калибров (пушки, гаубицы, мортиры).

Пороха трубчатой формы употребляются преимущественно для стрельбы из орудий крупных калибров с длинными каморами и большим весом заряда, где зерненые пороха не обеспечили бы одновременности воспламенения заряда и его жесткости, требуемой условиями заряжания.

При выборе формы порохового зерна необходимо в первую очередь ориентироваться на зерно с семью каналами. Такой порох горит прогрессивно, прост в фабрикации и удобен для изготовления из него зарядов, при этом одну марку можно применить к нескольким орудиям. К другим формам следует переходить только в том случае, если зерненые пороха для данной конструкции оружия не подходят.

2. Маркировка современных порохов

Порох, подобранный к артиллерийской системе или оружию, обозначают определенной маркой. Марка пороха — условное обозначение, указывающее на его балистические свойства. Раньше пороха обозначали первыми буквами наименований орудий, для которых они предназначались. Например, существовали такие марки: ПКО (порох для полевой, крепостной и осадной артиллерии), СП (порох для скорострельной полевой пушки), $С_{42}$ (порох для 107-*мм* — 42-линейной пушки) и многие другие. Эти обозначения не отражали многих характеристик пороха.



а *б*

Рис. 15:
а — порох марки 7/7 в разрезе; *б* — то же марки 7/1

Новые обозначения зерненых порохов значительно полнее отображают качества пороха. Они содержат указания на: 1) балистические свойства пороха (форму зерна, толщину свода, содержание летучих); 2) состав его; 3) номер заводской партии; 4) год изготовления; 5) завод-изготовитель; 6) особенности технологического процесса, если они имеются.

Прежде чем дать более подробное описание марок порохов, укажем некоторые общепринятые термины.

Толщиной горящего свода у порохов с одним каналом называют расстояние по диаметру между наружным обводом и окружностью канала (рис. 15), а у зерен с семью каналами — расстояние по диаметру между наружным обводом зерна и окружностью каналов, а также между окружностями каналов как по диаметрам, так и по прямым, соединяющим между собой центры каналов. На рисунках они обозначены e (для удобства математических вычислений в балистике эту величину обозначают $2e_1$). Далее обозначают:

d — диаметр канала в *мм*;

D — наружный диаметр зерна в *мм*;

L — длину зерна в *мм*.

Размеры зерна и его вид обозначают дробью, в которой числитель указывает толщину горящего свода в десятых долях миллиметра, а знаменатель — число каналов в зерне. Например, 7/7 означает, что толщина горящего свода равна 0,7 *мм* и число каналов 7. Для трубчатых порохов к этому обозначению добавляют буквы ТР. В случае нитроглицериновых порохов этих букв не ставят, так как эти пороха бывают только одной трубчатой формы.

Толщина свода и число каналов являются важной балистической характеристикой порохов.

Пластинчатые пороха обозначают буквами Пл и двумя числами, отделенными одно от другого чертой. Первое число указывает толщину пластинки в сотых долях миллиметра, а второе — ширину ее в десятых долях миллиметра. Например, $Пл_{10-13}$ означает, что порох пластинчатый, толщиной 0,1 *мм* и шириной 1,2 *мм*.

Пористые пороха обозначают буквой П и внизу ставят число указывающее количество селитры, которое было введено при изготовле-

нии пороха. Например, $П_{85}$ означает, что порох пористый и что при его изготовлении было взято 85 частей селитры на 100 частей пироксилина.

Винтовочные пороха обозначают буквой В. Если порох предназначается под тяжелую пулю, то добавляют букву Т (ВТ), если под легкую — букву Л (ВЛ).

Порох для холостых зарядов обозначают буквой Х.

Таблица 20

Размеры зерненых порохов наиболее распространенных марок

Марки	$2e_1$	d	D	L
	в миллиметрах			
4/1	0,4	0,3	1,1	6
7/1	0,7	0,4	1,8	8
7/7	0,7	0,4	4,0	8
9/7	0,9	0,5	5,1	10
12/7	1,2	0,7	6,9	13
15/7	1,5	0,8	8,4	16

Таблица 21

Марки порохов и их назначение

Марки пороха	Наименование системы, в которой он применяется
Х	Для холостых пушечных зарядов и винтовочных патронов.
$Пл_{10-12}$	Для боевых патронов к револьверу Наган.
$Пл_{10-10}$	
$П_{45}$	Для боевых патронов к пистолету Маузер и револьверу Наган.
$П_{85}$	Для патронов малокалиберной винтовки.
$П_{220}$	Для дополнительных зарядов к ружейным гранатам системы Дьяконова.
ВЛ	Винтовочный порох под легкую пулю для 7,62-*мм* винтовки и пулемета.
ВТ	То же под тяжелую пулю.
4/1	Для зарядов 76-*мм* полковой пушки обр. 1927 г.
7/1	„ „ 76-*мм* горной „ „ 1909 г.
7/7	„ „ 76-*мм* дивизионной „ „ 1902 г.
9/7	„ „ 76-*мм* „ „ „ 1902/30 г.
12/7	„ „ 107-*мм* „ „ „ 1910/30 г.
15/7	„ „ 152-*мм* „ „ „ 1910/30 г.

Надо отметить, что пороха ряда марок применяют в настоящее время для нескольких систем. Так например, пороха 4/1, 7/1 и 7/7 применяют также для 122- и 152-*мм* гаубиц.

Пороха морской и береговой артиллерии обозначают несколько иначе, а именно в виде дроби, в которой числитель выражает калибр орудия в миллиметрах, а знаменатель — длину ствола в калибрах. Например: $\frac{305}{52}$ — для 305-*мм* пушки в 52 калибра; $\frac{120}{45}$ — для 120-*мм* пушки в 45 калибров; $\frac{100}{50}$ — для 100-*мм* пушки в 50 калибров и т. д.

Рядом с цифрами, характеризующими размеры пороха, в марке пороха помещают еще следующие буквенные обозначения свойств нитратов целлюлозы и характера различных примесей, добавляемых в некоторые сорта порохов:

св — порох, изготовленный из свежего пироксилина;
пер — порох, переделанный из старых порохов;
ст — порох, обновленный введением стабилизатора, без переделки, путем пропитывания в спиртовом растворе;

НГВ — нитроглицериновый порох, изготовленный с примесью вазелина;

Н и НГ — нитроглицериновый порох;

фл — флегматизированный порох;

БСК — беспламенный порох;

ПГП — пламегасящий порох.

Кроме того, в марку пороха входят обозначение номера заводской партии и год ее изготовления, изображаемые дробью, причем номер партии ставят в числителе, а год изготовления — в знаменателе. Например, $\frac{18}{37}$ означает: 18-я партия 1937 г. изготовления.

Завод-изготовитель условно обозначают одной буквой.

Последовательность расположения знаков в марке видна из следующих примеров:

Хсв $\frac{1}{36}$ Р — пластинчатый порох для холостой стрельбы, изготовленный из свежего пироксилина; первая партия 1936 г. завода Р.

$Пл_{10-10}$ пер $\frac{3}{36}$ Шл — пластинчатый порох для револьвера Наган; получен переделкой из старых порохов; третья партия 1936 г. завода Шл.

$\frac{13}{1}$ Н $\frac{2}{37}$ П — трубчатый нитроглицериновый порох; вторая партия 1937 г. завода П.

$\frac{7}{7}$ ст $\frac{2}{35}$ Т — порох марки 7/7, стабилизованный; вторая партия 1935 г. завода Т.

Если порох обращен в заряды, то под обозначением пороха проводят черту и под ней проставляют номер партии зарядов, год их изготовления и номер склада или индекс завода (номер склада очерчивается квадратом).

Пример:

$$\frac{\frac{9}{7}\text{ св }\frac{3}{37}\text{ К}}{2\text{—}38\text{—К}}$$

Знаменатель дроби означает: вторая партия зарядов 1938 г. изготовления завода К.

Или:

$$\frac{\frac{7}{7}\text{ пер }\frac{2}{36}\text{ Р}}{5\text{—}38\text{—}\boxed{\overline{22}}}$$

Знаменатель обозначает: пятая партия зарядов 1938 г., изготовленная военскладом № 22.

Маркировка порохов имеет большое значение как в условиях их складского хранения, так и в условиях боевого использования. Если на складе или в артиллерийской части будут обнаружены заряды с признаками разложения, то нетрудно взять на учет для дополнительного анализа или изъятия для переделки или уничтожения все заряды этой партии пороха, где бы они ни находились. Вот почему каждый начальник, в ведении которого находятся боеприпасы, обязан следить за тем, чтобы все запасы порохов и зарядов, находящиеся в части, были тщательно маркированы и чтобы на них велись установленные карточки-формуляры.

3. Устройство боевых зарядов

Боевым зарядом для стрельбы из артиллерийских орудий или ручного оружия называют весовое количество пороха, предназначенное для выбрасывания снаряда из канала ствола и сообщения ему требуемой начальной скорости.

Конструкция зарядов определяется прежде всего устройством системы огнестрельного оружия, для которой они предназначены. По приемам заряжания все артиллерийские орудия делятся на три группы:

1. Орудия с унитарным патроном; в выстреле таких систем гильза, снаряд и заряд представляют одно целое. К ним относятся пушки малых и средних калибров, ручное оружие и пулеметы.

2. Орудия гильзового раздельного заряжания; в выстреле таких систем лишь гильза и заряд соединены в одно целое. В этом случае при заряжании в камору орудия вкладывают сначала снаряд, а затем гильзу с зарядом. К таким системам относятся преимущественно гаубицы и некоторые пушки средних калибров.

3. Орудия картузного заряжания. При заряжании таких орудий сначала вкладывают снаряд, а затем заряд в шелковом картузе (мешке). К таким системам относятся гаубицы и пушки более крупных калибров.

Материал картузов должен при выстреле сгорать полностью, не оставляя в каморе орудия тлеющих остатков, могущих преждевременно воспламенить следующий, вновь вкладываемый в орудие заряд.

Этим требованиям удовлетворяет ткань из шелковых очесов (самый низкий сорт шелковых тканей), называемая равентук. Принятая во всех государствах, эта ткань в артиллерии носит название картузной ткани.

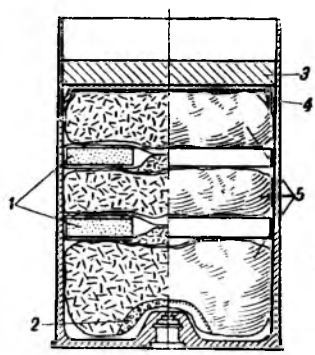


Рис. 16. Состав заряда:

1 — селитро-угольный добавок; *2* — воспламенитель; *3* — пыж; *4* — картонная крышка; *5* — пучки

Несмотря на различия, обусловленные особенностями применения в системах, все заряды в основном состоят (рис. 16) из:

а) навески пороха, помещаемой в гильзе россыпью или в матерчатом картузе (при гильзовом заряжании) или в матерчатом картузе в каморе орудия (при картузном заряжании);

б) воспламенителя из дымного пороха, помещаемого в донной части заряда в особом картузике; для орудий мелкого и среднего калибров, до 76-*мм* включительно, воспламенителем служит заряд дымного пороха в капсюльной втулке или в ударной трубке;

в) специальных добавков, например пламегасителей или прессованных колец и цилиндров суррогатного аммонийно-селитренного пороха, вводимых в заряды в нужных случаях;

г) помещаемых в гильзах обтюрирующих приспособлений и приспособлений для заполнения гильз (наполнители).

В зависимости от рода стрельбы заряды, отпускаемые в войска, разделяются на: а) боевые, б) практические и в) холостые.

Боевые заряды в свою очередь делятся на:

а) постоянные, применяемые для прицельной стрельбы, и

б) переменные, или изменяемые, применяемые для прицельной и навесной стрельбы.

Переменные заряды бывают полные и уменьшенные.

Переменные заряды состоят не из одного пакета, а из основного — наименьшего заряда, именуемого „основным пакетом“ или просто „пакетом“, а также из нескольких добавочных к нему пучков, служащих дополнением к наименьшему заряду до полного (рис. 17).

Такое устройство заряда позволяет пользоваться им и в качестве полного для стрельбы на предельную дальность, и в качестве уменьшенного для стрельбы на меньшие дальности, путем отнятия того или иного количества пучков.

Пучки переменных зарядов бывают чаще всего одного и того же веса (равновесные), реже — разного веса (неравновесные). В последнем случае устройство заряда осложняется необходимостью располагать эти пучки в строго определенном порядке и внимательно следить во время стрельбы за номерами отнимаемых пучков. Уменьшение полного заряда при равновесных пучках проще: здесь не нужно следить за номером пучка, а учет отнимаемых пучков ведется простым отсчетом: один, два, три и более пучков.

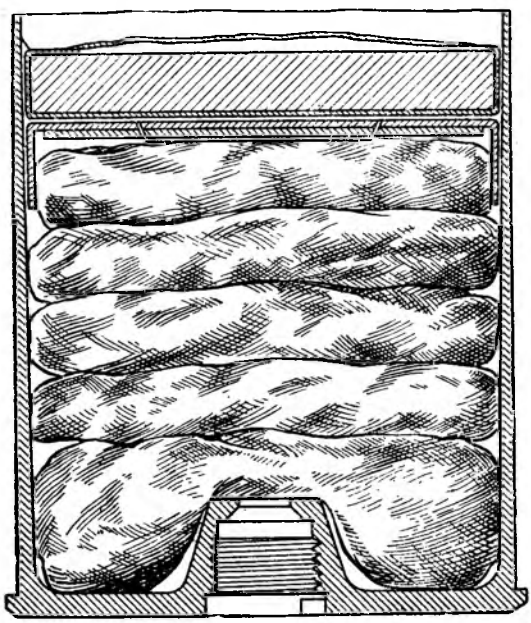


Рис. 17. Переменный заряд в гильзе

Переменные заряды редко удается изготовить из порохов одной марки. Обычно приходится брать пороха двух марок: а) для пакетов — с малой толщиной свода, и б) для пучков — с большей толщиной свода. Такой выбор вызывается тем, что при наименьшем заряде для получения заданной наименьшей начальной скорости необходимо обеспечить надежное воспламенение, правильное и полное сгорание заряда, а также величину давления пороховых газов на дно снаряда, достаточную для взведения взрывателя или трубки. Выполнение указанных требований затрудняется наличием большого свободного объема в зарядной каморе орудия вследствие небольшого объема уменьшенного заряда. Только быстрогорящим, тонким порохом можно обеспечить выполнение перечисленных требований. Наоборот, при полном заряде заданная наибольшая начальная скорость снаряда должна быть получена при давлении пороховых газов, не превосходящем прочности ствола орудия. Тонкий, быстрогорящий порох, развивающий большое давление, здесь может не подойти. Поэтому для замедления горения полного заряда к пакету из тонкого пороха добавляют пучки, изготовленные из более толстого пороха, медленнее горящего. Приходится, таким образом, комбинировать марки порохов, чтобы получить нужные результаты. Переменные заряды, составленные из порохов разных марок, называют иногда комбинированными зарядами. Иногда такие заряды состоят из порохов трех марок.

Постоянные заряды для орудий гильзового заряжания помещают обычно в гильзу без картузов. Для переменных же зарядов необходимы картузы, отдельные для пакета и каждого из пучков (рис. 17). Картузы в этом случае могут изготовляться не из шелковой ткани, так как тлеющие остатки картуза удаляются из каморы орудия вместе с гильзой.

При изготовлении зарядов надо соблюдать ряд требований, без выполнения которых нельзя обеспечить однообразия горения пороха, а следовательно, однообразия начальных скоростей снаряда.

К таким требованиям прежде всего относятся: 1) строгое соблюдение весов зарядов в пределах установленных норм; 2) подбор воспламенителя достаточной мощности и его расположения, обеспечивающего наи-

лучшее воспламенение заряда; наконец, 3) подбор наиболее благоприятного положения самого заряда в каморе или гильзе орудия.

Разность в весах отдельных зарядов для данной партии пороха должна быть по возможности малой.

Значение воспламенителя для хорошего действия заряда очень велико. Луч огня воспламенителя должен воспламенять не только пороховые зерна, расположенные вблизи, но и быстро и равномерно воспламенить наружную поверхность пороховых зерен всего заряда. Это возможно лишь при достаточной мощности воспламенителя. Капсюльная втулка орудийной гильзы или запальная трубка у орудий картузного заряжания хотя и содержит дымный порох, но во многих случаях в количестве, недостаточном для быстрого и безотказного воспламенения заряда. Поэтому к заряду прибавляют в таких случаях добавочный воспламенитель из дымного пороха, легко загорающегося от действия капсюльной втулки или запальной трубки.

Для дополнительных воспламенителей к зарядам орудий малых и средних калибров (до 152 *мм*) применяют ружейный или артиллерийский порох, а для зарядов к орудиям калибра 152 *мм* и выше — крупнозернистый дымный порох. Дополнительный воспламенитель располагают в заряде так, чтобы луч огня капсюльной или запальной трубки неизбежно попадал в него.

По способу присоединения к зарядам воспламенители разделяются на: а) пришивные, которые применяют обыкновенно для зарядов в картузах к орудиям малого и среднего калибров и которые состоят из определенной навески дымного пороха, помещаемой между дном картуза и пришитым к нему кружком ткани, и б) привязные, которые изготовляют и возят отдельно от заряда и привязывают к дну заряда перед стрельбой или при снаряжении патрона во избежание перетирания пороха в пыль.

Вес воспламенителя колеблется от 1 до 2% от веса заряда.

Для артиллерийских систем имеет большое значение плотность заряжания Δ, под которой понимают отношение веса порохового заряда ω к объему каморы W:

$$\Delta = \frac{\omega}{W}.$$

Величина эта имеет следующую размерность: $\frac{\text{единица веса}}{\text{объем}}$, обычно $\frac{кг}{дм^3}$.

Очевидно, что чем больше плотность заряжания, тем больше будет давление, развивающееся в момент выстрела в каморе, и тем энергичнее будет протекать воспламенение, а затем и горение заряда. Напротив, при малых плотностях заряжания давление в каморе будет в момент выстрела относительно малым и воспламенение будет протекать медленнее, а это может привести к некоторой затяжке всего явления выстрела, если не будут приняты специальные меры против этого.

Помимо того, важно, чтобы распределение зерен заряда в каморе перед выстрелом и в момент его всегда было наиболее однообразным.

Если внутренний объем гильзы или зарядной каморы значительно больше, чем объем заряда, необходимо принимать особые меры, чтобы исключить возможность расстройства заряда как во время перевозки, так и при обращении с ним. Постоянство в устройстве заряда обеспечивает необходимое однообразие в результатах стрельбы.

Так, например, полные заряды из зерненого пороха в некоторых унитарных патронах умещают весьма свободно в гильзы, оставляя сравнительно большой свободный объем. Постоянства положения пороха в заряде достигают здесь тем, что после хорошей утряски пороха в гильзе оставшийся свободный объем между порохом и дном снаряда заполняют особыми картонными наполнителями, состоящими из картонного кружка, укладываемого непосредственно на порох, картонного цилиндрика поверх картонного кружка и, наконец, картонного обтюратора, укладываемого

поверх цилиндрика (рис. 18). Всю эту систему наполнителей принято называть обтюрирующим устройством. Действительно, верхний картонный обтюратор оказывает обтюрирующее действие, предотвращая или во всяком случае ослабляя в первый момент прорыв пороховых газов через зазоры между ведущим поясом и поверхностью канала ствола. Опыты показали, что срок службы стволов в случае применения таких обтюраторов повышается.

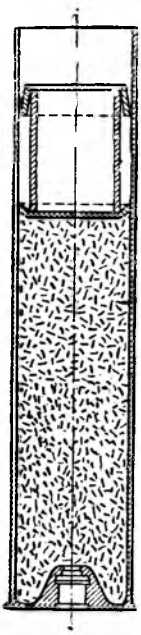


Рис. 18. Заряд в унитарном патроне

Особенно важно обеспечить надлежащее устройство уменьшенных зарядов в орудиях с длинными каморами. При слишком коротких зарядах в таких орудиях, как показал опыт, могут возникать анормальные давления. Необходимо поэтому заряды устраивать так, чтобы их длина составляла не менее двух третей длины каморы. При уменьшенных зарядах с целью увеличения длины заряда ему иногда придают особую форму (рис. 19). Из рисунка видно, что заряд состоит из нижней (широкой) и верхней (узкой) частей. Широкой частью заряд обращен к затвору, чем обеспечивается надежность воспламенения, иначе при малом диаметре заряда луч огня от воспламенительной трубки, расположенной в затворе по оси канала, мог бы проходить мимо заряда.

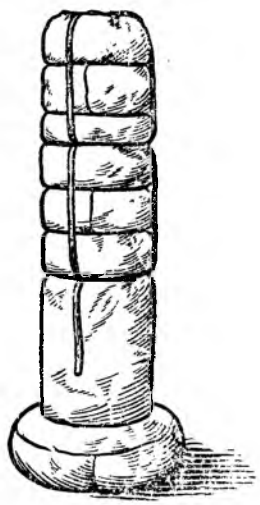


Рис. 19. Устройство уменьшенного заряда картузного заряжания

В случае применения пламегасителей, пламегасящий добавок в шелковом картузике помещают поверх заряда или между частями переменного заряда. Для гаубиц последнее устройство не вызывает опасений, поскольку заряды этих орудий достаточно коротки. В пушках же, при длинных зарядах, подобное устройство, затрудняя одновременное воспламенение пороха, может повести к опасным для орудия высоким давлениям, почему здесь следует придерживаться первого варианта расположения пламегасителя, если он вообще применяется. (Для пушек, как уже упоминалось, предпочтительнее употреблять заряды из беспламенного или пламегасящего пороха.)

4. Хранение порохов и зарядов и контроль их качества

Пороха коллоидного типа в отношении безопасности применения могут быть охарактеризованы следующими словами известного немецкого знатока порохов Брунсвига: „Бездымные пороха довольно чувствительны к удару, толчку, легко воспламеняются при зажжении бикфордовым шнуром и быстро сгорают (или дают вспышку). Опасность взрыва не исключена". Бездымные пороха при сгорании в весьма больших количествах (до сотен тонн) обыкновенно не дают взрыва. В отличие от них, горение дымных порохов даже в сравнительно малых количествах (килограммы) всегда кончается взрывом.

Бездымные пороха могут самовоспламеняться в случае их недостаточной химической стойкости. Пироксилин сам по себе не отличается большой химической стойкостью; он начинает медленно разлагаться уже в процессе своей фабрикации. Высокая температура может резко ускорить этот процесс. Замечено, например, что с увеличением температуры хранения пороха на каждые 10° С „жизнь" пороха сокращается в два-три раза. Исходя из этого, можно считать, что порох, который при нормальной

температуре (около 15° С) выдержал бы 15 лет хранения, при 45° С выдержит всего около одного года, при 75° С — только один месяц, а при 100° С — около суток. Напротив, при пониженных температурах „жизнь" пороха удлиняется. Американцы считают, что сутки хранения бездымного пороха при температуре около 40° С равны одному году хранения его при —18° С.

Обладая той или иной гигроскопичностью, пороха коллоидного типа при хранении на открытом воздухе теряют или втягивают влагу в зависимости от степени влажности окружающей среды. Пороха, изготовленные на летучем растворителе, кроме того, могут терять при повышенной температуре и малой влажности окружающего воздуха часть оставшегося в них растворителя, а изменение количества влаги и вообще летучих веществ в порохе отражается на его балистических качествах.

Отсюда ясно, что для увеличения продолжительности „жизни" пороха необходимо порох россыпью и заряды из него хранить в герметической укупорке.

Порох укупоривают в короба из оцинкованного железа почти кубической формы, закрываемые герметически крышкой на резиновой прокладке. Короб помещают в деревянный ящик-футляр, предохраняющий его от порчи во время транспортировки и хранения на складах.

Пороховые хранилища на складах должны быть такой конструкции, чтобы в них в течение всего года по возможности обеспечивалось постоянство температуры (8—12° С) и влажности (невысокой). Однако устройство таких хранилищ очень дорого; поэтому на практике обычно удовлетворяются постройками, обеспечивающими, по крайней мере в самое жаркое время года, температуру в хранилище не выше 25—30° С.

Наконец, очень важное значение имеет систематический контроль физико-химических качеств пороха. Для этого при складах или группе складов организуют химические контрольные лаборатории, в которые периодически (пироксилиновые пороха — раз в 4 года) доставляют образцы от хранимых партий пороха или зарядов для всестороннего испытания, особенно пробами на химическую стойкость.

Если пороха не удовлетворяют нормам по стойкости, то лаборатория сообщает об этом складам и органам снабжения для принятия соответствующих мер. Меры здесь возможны следующие:

а) усиление надзора за данной партией пороха путем более частой посылки образцов в лабораторию, например не через 4 года, а через 1—2 года;

б) изъятие партии пороха из общего хранения с последующим направлением ее на переделку на завод или уничтожение сжиганием, если порох очень сильно разложился.

Только таким систематическим контролем можно предотвратить тяжелые катастрофы в результате саморазложения пороха.

Каждый начальник обязан тщательно следить за своевременностью отсылки образцов пороха на контроль со складов, находящихся в его подчинении.

5. Суррогатирование порохов

Колоссальная потребность современных армий в боеприпасах вызывает огромный спрос и на порох для комплектации соответствующих выстрелов[1]. Поэтому во время войны приходится прибегать к суррогатированию бездымных порохов.

Суррогатными называют пороха, изготовленные ускоренными способами и на пироксилине ускоренной фабрикации, а также добавляемые к порохам коллоидного типа суррогатные аммонийные пороха.

[1] По имеющимся данным, в 1917 г. французы изготовили 120 000 *т* порохов и закупили в США 30 000 *т*; англичане изготовили около 205 000 *т*, немцы — 100 000 *т*. В США было изготовлено в 1917 г. 120 000 *т* порохов, а в 1918 г. — 200 000 *т*. Несмотря на это, во многих странах ощущался недостаток пороха.

Аммонийные пороха применялись для орудий разных калибров в австрийском флоте еще в 90-х годах прошлого столетия (1890—1896 гг.) и состояли из 80—90% аммонийной селитры и 20—10% угля. Во время мировой войны 1914—1918 гг. немцы были вынуждены ввести в употребление аммонийный порох состава 90% селитры и 10% угля, который добавляли к зарядам из пироксилинового пороха в количестве $^1/_3$—$^1/_2$ от веса всего заряда. Аммонийный порох при этом спрессовывали в виде колец или цилиндров (рис. 20) диаметром, соответствовавшим внутреннему диаметру гильз. Такая форма в известной степени облегчала борьбу с гигроскопичностью этого пороха.

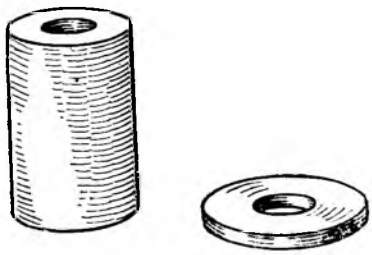


Рис. 20. Цилиндр и кольцо из аммонийного пороха

У нас такие добавки из аммонийного пороха получили название селитро-угольных добавков, или, сокращенно, СУД.

Селитро-угольные добавки для гаубиц подбирают по весу таким образом, чтобы один добавок в балистическом отношении соответствовал одному пучку из бездымного пороха, который он в заряде заменяет.

На рис. 16 показан заряд для 152-*мм* гаубицы обр. 1909 г. Из рисунка видно, что на дно гильзы уложен основной пакет с дополнительным воспламенителем, который находится над соском гильзы. На пакет уложены: селитро-угольный добавок, затем пучок с порохом, потом опять добавок и, наконец, пучок с порохом. Поверх скомплектованного таким образом заряда ставят картонную крышку и пробковый пыж, либо усиленную нормальную крышку, залитую мастикой, либо, наконец, крышку и резиновый чехол, надеваемый на дульце гильзы (чехол перед стрельбой снимают).

Балистические качества зарядов с СУД остаются удовлетворительными лишь до тех пор, пока СУД сохраняют свою форму. Разрушение добавка под действием влаги и высокой температуры сразу приводит к нарушению балистики суррогатного заряда и может привести к повышению давлений. Поэтому при стрельбе зарядами с СУД нужно внимательно следить за их состоянием, не допуская стрельбы зарядами с разрушенными добавками.

ОТДЕЛ ТРЕТИЙ

ВНУТРЕННЯЯ БАЛИСТИКА

★

ГЛАВА I

ВВЕДЕНИЕ

1. Предмет и задачи внутренней балистики

Внутренняя балистика изучает явления, происходящие в канале ствола во время выстрела, и в особенности законы движения снаряда в период действия на него пороховых газов.

При выстреле происходит процесс очень быстрого превращения химической энергии пороха в тепловую, которая затем превращается в кинетическую энергию движения системы снаряд—заряд—ствол.

Задачей внутренней балистики является решение вопроса о наиболее рациональном использовании энергии порохового заряда во время выстрела. Она дает методы управления явлением выстрела, методы регулирования притока газов при горении пороха в канале ствола.

Основной задачей внутренней балистики является решение вопроса о сообщении снаряду данного веса q и калибра d при вылете из канала орудия данного размера определенной дульной скорости $v_д$ при условии, чтобы наибольшее давление пороховых газов p_m не превосходило заранее заданной величины.

Внутренняя балистика дает методы расчета изменения давления p пороховых газов и скорости v снаряда в зависимости от проходимого снарядом пути l для данного ствола или в зависимости от времени t движения снаряда по каналу при данных условиях заряжания. Таким образом, решение задачи о законе изменения давления p и скорости v в зависимости от пути снаряда l и времени t и является решением основной задачи внутренней балистики.

Совокупность кривых p, l; v, l; p, t; v, t дает исходные данные для рационального расчета ствола, лафета, автоматики, снаряда, трубок и взрывателей, формы и размеров зерна порохового заряда.

2. Процессы, происходящие в канале ствола во время выстрела

Рассмотрим процессы, происходящие в канале ствола при выстреле.

Воспламенение заряда производится или при помощи капсюльной втулки, или вытяжной трубки, или электрического запала. При сгорании капсюльного состава загорается воспламенитель, состоящий обычно из дымного пороха. Газы воспламенителя и накаленные частицы продуктов его горения под действием высокой температуры и давления ($p_в = 10 \div 50$ *кг/см*^{2}) воспламеняют пороховой заряд.

Порох воспламеняется и сначала горит в постоянном объеме, пока давление газов не достигнет величины, достаточной для того, чтобы привести снаряд в движение, преодолеть его инерцию и сопротивление веду-

щего пояска врезанию в нарезы. Для полного врезания пояска в нарезы необходимо давление 250—400 *кг/см*^{2}. Это давление обозначается через p_0 и называется давлением форсирования.

При решении основной задачи внутренней балистики обычно принимают, что сначала порох горит в постоянном объеме, считая, что до достижения давления форсирования перемещения снаряда не происходит. Этот период горения пороха называется предварительным.

За предварительным периодом следует основной, или первый, период выстрела, когда горение пороха, а следовательно, и образование пороховых газов происходят в быстро изменяющемся объеме.

Период от начала движения снаряда до конца горения пороха в канале ствола, когда прекращается приток новых газов, является наиболее сложным для изучения, так как здесь имеют место два противоположно действующих и влияющих друг на друга процесса. С одной стороны, происходит непрерывный приток газов, стремящихся увеличить давление в канале ствола, а с другой стороны, происходит непрерывное перемещение снаряда и вследствие этого увеличение объема заснарядного пространства, стремящееся понизить величину давления.

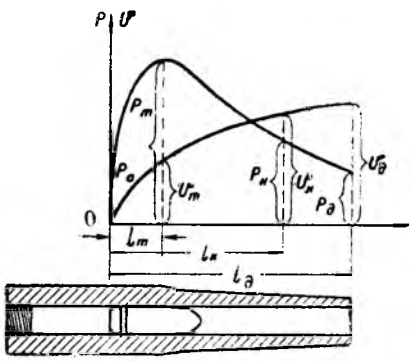


Рис. 21. Кривые давления на дно снаряда и скорости снаряда в функции от пути снаряда по каналу ствола

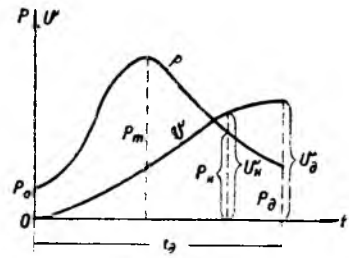


Рис. 22. Кривые давления и скорости снаряда в зависимости от времени

В начале первого периода, когда скорость снаряда еще невелика, количество газов растет быстрее, чем объем заснарядного пространства, и давление при этом повышается, достигая своего наибольшего значения p_m. Вместе с увеличением давления растут ускорение и скорость снаряда, происходит быстрое увеличение объема заснарядного пространства, а потому, несмотря на продолжающееся горение пороха и приток новых газов, наступает момент, когда давление начинает падать и убывает до конца горения пороха. Давление в момент конца горения обозначается через $p_к$.

Скорости снаряда соответственно моментам наибольшего давления и конца горения обозначаются v_m и $v_к$.

По окончании горения пороха приток новых газов прекращается. Однако находящиеся в заснарядном пространстве пороховые газы обладают еще очень большим запасом энергии. На оставшейся до дульного среза части пути пороховые газы, продолжая расширяться, совершают дополнительную работу, увеличивая скорость снаряда и его кинетическую энергию. Этот период представляет собой процесс расширения определенного количества сильно сжатых и нагретых газов. Так как в момент конца горения пороха скорость снаряда уже велика и продолжает увеличиваться, то остающийся участок пути снаряд проходит очень быстро. Поэтому можно пренебречь потерей тепла через стенки орудия и считать, что в течение всего этого периода происходит адиабатическое расширение

газов. Этот период оканчивается моментом прохождения дна снаряда через дульный срез ствола и называется вторым периодом. Давление в течение этого периода падает от $p_к$ до $p_д$, а скорость возрастает от $v_к$ до $v_д$.

Кривые изменения давления и скорости в зависимости от пути снаряда и времени движения снаряда по каналу изображены на рис. 21 и 22.

После вылета снаряда из ствола газы, вытекающие за снарядом, продолжают некоторое время оказывать давление на дно снаряда, сообщая ему добавочные ускорения.

Этот период носит название третьего периода, или периода последействия пороховых газов на дно снаряда. Этот период пока мало изучен.

Кроме основной работы — на сообщение снаряду кинетической энергии в поступательном движении, пороховые газы совершают ряд второстепенных работ, влияющих на общий ход выстрела. Наряду с перемещением снаряда происходят: откат ствола, перемещение пороховых газов и несгоревшей части заряда в заснарядном пространстве, сообщение снаряду вращательного движения, преодоление трения снаряда о стенки канала ствола. Кроме того, часть газов прорывается через зазоры между пояском и стенками канала ствола, не совершая полезной работы, и часть энергии тратится на нагревание стенок орудия.

Экспериментальное изучение горения пороха в канале ствола затрудняется тем, что оно происходит при больших давлениях (2 000—3 000 *кг/см*^{2} и выше), при высокой температуре пороховых газов (2 500—3 500° С) и в переменном объеме. Кроме того, изучение явления горения затрудняется малой продолжительностью явления выстрела (0,002—0,060 секунды).

Поэтому законы газообразования порохов предварительно изучают в неизменяемом объеме, сжигая заряды пороха в специальных, так называемых „манометрических бомбах", позволяющих доводить давление пороховых газов до 3 000 *кг/см*^{2}. Нарастание давления газов в такой бомбе при сжигании в ней определенного заряда пороха регистрируется при помощи специальных приспособлений.

В манометрической бомбе объем остается постоянным, газы не совершают работы, как это имеет место в орудии, и поэтому в ней легче изучить закон газообразования. Зная закон газообразования пороха в неизменяемом объеме, можно исследовать горение его и в переменном объеме.

В связи с таким способом изучения явления выстрела внутренняя балистика делится на два основных отдела: пиростатику и пиродинамику. Пиростатика изучает законы горения пороха в неизменяемом объеме; пиродинамика изучает законы горения пороха в переменном объеме, а также изучает и те механические явления, которые при этом имеют место.

ГЛАВА II

ГОРЕНИЕ ПОРОХА В ЗАМКНУТОМ НЕИЗМЕНЯЕМОМ ОБЪЕМЕ

1. Понятие о манометрической бомбе

Опыты по сжиганию пороха в манометрической бомбе дают возможность определить давление и основные балистические характеристики пороха: силу f, коволюм α и скорость горения u_1 при $p = 1$ [1].

---

[1] Балистические характеристики f, α и u_1 подробнее рассматриваются дальше.

Определение давления производится по деформации медного столбика — крешера; зависимость между деформацией крешера и давлением устанавливается тарированием крешеров (путем обжатия на прессе).

Бомба (рис. 23) состоит из полого стального цилиндра *1* с винтовой нарезкой на обоих концах внутренней поверхности. С одной стороны ввинчивается запальная втулка *2*, с другой — поршневая *3*. В запальной втулке имеется изолированный от втулки стержень *4*, к которому подводится одна линия от источника электрического тока; второй провод подводится непосредственно к телу бомбы. Проволочка (для накала током), соединяющая борны *5*, проходит через гильзу из папиросной бумаги, в которой помещается определенная навеска воспламенителя (сухой порошкообразный пироксилин, дымный порох).

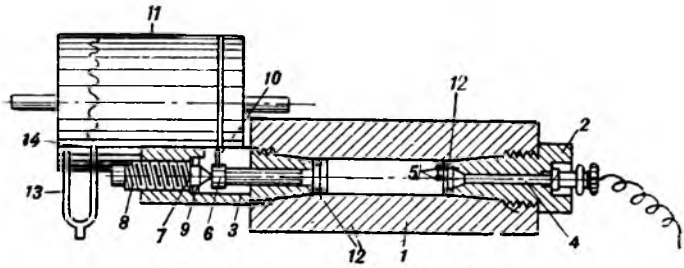


Рис. 23. Манометрическая бомба

В канале поршневой втулки *3* ходит поршень *6*, передающий давление пороховых газов крешеру *7*, другой конец которого упирается в торец упорной пробки *8*. Для совпадения осей поршня и крешера на последний надевается центрующее резиновое кольцо *9*. Головка поршня *6*, которая соприкасается с крешером, имеет выходящий наружу выступ, движущийся в боковой прорези в головке поршневой втулки. К выступу прикреплено стальное перо *10*, которое на закопченной бумаге, наклеенной на барабан *11* хронографа, делает запись пути поршня в функции времени при перемещении его на величину обжатия крешера под действием давления пороховых газов.

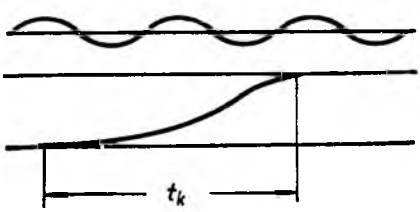


Рис. 24. Кривая обжатия крешера и синусоида, получаемые при опыте в манометрической бомбе

Для устранения прорыва газов между стенками бомбы и ввинтными втулками служат медные обтюрирующие кольца *12*, а в канал поршня для той же цели помещают кожаный кружок и мастику из смеси воска и пушечного сала.

Бомба зажимается в специальных тисках около барабана так, чтобы перо лишь слегка прикасалось к закопченной бумаге и при вращении барабана *11* вычерчивало на нем тонкую линию. С другой стороны барабана *11* помещается электромагнитный камертон *13*; на конце одной из его ветвей прикреплено перо *14*, дающее запись колебаний на той же закопченной полоске бумаги. Навеска испытуемого пороха помещается в каморе бомбы.

Перед опытом барабан хронографа приводят в быстрое вращение от электромотора. Когда вращение мотора установится, включают ток и производят пережигание проволочки, проходящей через запал. Последний загорается и воспламеняет находящийся в бомбе заряд пороха. Газы, образующиеся при горении пороха, действуют через поршень на крешер, сжимают его, и перо поршня вычерчивает кривую сжатия крешера соответственно процессу нарастания давления.

Одновременно с воспламенением заряда перо камертона прикасается к поверхности барабана и вычерчивает на закопченной ленте синусоиду.

Вид кривой и синусоид изображен на рис. 24. По кривой сжатия крешера устанавливают давление, а по синусоиде — масштаб времени.

2. Формула Нобля и Эйбля

К газам, образующимся при горении пороха, применимы общие газовые законы физики и термодинамики, а следовательно, и характеристическое уравнение, дающее связь между давлением, температурой и удельным объемом газов.

Пороховые газы в манометрической бомбе имеют очень большую плотность. Поэтому в качестве уравнения состояния для пороховых газов можно применить уравнение для реального газа Ван-дер-Ваальса:

$$\left(p + \frac{a}{w^2}\right)(w - b) = RT, \tag{1}$$

где w — удельный объем газа;

T — температура газов;

$R = \frac{p_0 w_1}{273^\circ}$ — газовая постоянная;

b — характеристика объема молекул;

a — характеристика силы сцепления газовых молекул.

При высоких температурах силой сцепления газовых молекул можно пренебречь, и тогда уравнение (1) напишется в виде:

$$p(w - b) = RT. \tag{2}$$

Это уравнение относится к единице веса газов.

Если в объеме W_0 сгорело ω килограммов пороха, целиком превратившегося в газы, температура которых равна температуре горения T_1, то уравнение (2) напишется так:

$$p\left(\frac{W_0}{\omega} - b\right) = RT_1,$$

или

$$p(W_0 - b\omega) = \omega RT_1. \tag{3}$$

Формула Ван-дер-Ваальса была выведена теоретически, на основе положений кинетической теории газов, в семидесятых годах прошлого века.

Наиболее полные и подробные исследования горения порохов и образующихся при этом газов были проведены в Англии Ноблем и Эйблем в период 1868—1880 гг.

Эти опыты проводились в манометрических бомбах для определения наибольшего давления. Исследованию подвергались бывшие в то время на вооружении дымные пороха при плотностях заряжания от 0,10 до 0,90.

Произведя большое количество опытов, Нобль и Эйбль установили эмпирическую зависимость между плотностью заряжания $\Delta = \frac{\omega}{W_0}$ и наибольшим давлением p_m следующего вида:

$$p_m = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}. \tag{4}$$

В этой формуле f и α — постоянные коэфициенты, определяемые из опытов при разных Δ.

Покажем, что эта формула представляет собой ту же формулу (2) Ван-дер-Ваальса.

Подставив в эту формулу вместо Δ ее выражение $\Delta = \frac{\omega}{W_0}$ и преобразовав ее, умножив числитель и знаменатель на W_0, получим:

$$p_m = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta} = \frac{f\frac{\omega}{W_0}}{1 - \alpha\frac{\omega}{W_0}} = \frac{f\omega}{W_0 - \alpha\omega}. \tag{5}$$

Из формулы (2) Ван-дер-Ваальса для ω килограммов газа имеем:

$$p_m = \frac{\omega R T_1}{W_0 - b\omega}. \tag{6}$$

Сравнивая между собой эти две формулы (одну, полученную опытным путем, а другую — теоретическим), увидим, что они совершенно одинаковы, если только принять, что $f = RT$. Величина α в формуле Нобля является характеристикой объема газовых молекул b в формуле Ван-дер-Ваальса, или коволюмом ($\alpha = b$).

Из выражения

$$f = RT_1$$

выясняется и физический смысл величины f, так называемой силы пороха.

Из термодинамики известно, что величина R есть работа, которую совершает 1 *кг* газа, если нагреть его при давлении $p_1 = 1{,}033$ *кг/см*^{2} на 1° С и дать ему возможность свободно расширяться:

$$R = p_1 \frac{w_1}{273^\circ}.$$

Следовательно, произведение

$$RT_1 = \frac{p_1 w_1 T_1}{273^\circ} = f$$

представляет собой работу, которую мог бы совершить 1 *кг* пороховых газов, расширяясь при нагревании на T_1 градусов при давлении $p_1 = 1{,}033$ *кг/см*^{2}.

Размерность f будет $\frac{кгдм}{кг}$; $\Delta = \frac{\omega}{W_0}$ имеет размерность $\frac{кг}{дм^3}$; α имеет размерность $\frac{дм^3}{кг}$.

Формула Нобля подтвердила на практике справедливость теоретической формулы Ван-дер-Ваальса. Опыты Вьеля впоследствии также доказали справедливость формулы Нобля для бездымных порохов и ряда взрывчатых веществ.

Формула Нобля находит широкое применение при решении ряда практических вопросов. Зная f и α, можно рассчитать, какова должна быть плотность заряжания Δ для того, чтобы получить заданную величину наибольшего давления p_m, или, наоборот, рассчитать величину наибольшего давления p_m при выбранной величине Δ. Кроме того, формула Нобля дает возможность определить опытным путем величины силы пороха f и коволюма α, являющихся основными балистическими характеристиками пороха и влияющих на величину давления p_m.

Для нахождения балистических характеристик пороха f и α сжигают порох в бомбе при двух плотностях заряжания Δ_1 и Δ_2, находят из опыта наибольшие давления p_{m_1} и p_{m_2} и из двух уравнений находят величины f и α.

Приведем формулу (4) к такому виду:

$$\frac{p_m}{\Delta} = \alpha p_m + f. \tag{7}$$

Подставив в это уравнение опытные значения Δ_1 и Δ_2, p_{m_1} и p_{m_2}, получим систему двух уравнений:

$$\frac{p_{m_1}}{\Delta_1} = \alpha p_{m_1} + f;$$

$$\frac{p_{m_2}}{\Delta_2} = \alpha p_{m_2} + f.$$

Решая их, найдем:

$$f = \frac{p_{m_1}}{\Delta_1} - \alpha p_{m_1} = \frac{p_{m_2}}{\Delta_2} - \alpha p_{m_2}$$

и

$$\alpha = \frac{\frac{p_{m_2}}{\Delta_2} - \frac{p_{m_1}}{\Delta_1}}{p_{m_2} - p_{m_1}}.$$

Значения f и α для различных порохов, полученные в бомбе, приведены в таблице 22.

Таблица 22

Значения f и α для различных порохов

Пороха	f *кгдм/кг*	α *дм³/кг*
Пироксилиновые	800 000 — 900 000	0,90 — 1,10
Нитроглицериновые . .	900 000 — 1 100 000	0,75 — 0,85
Дымные	280 000 — 300 000	0,50

Третьей балистической характеристикой пороха, оказывающей влияние на характер нарастания давления, является скорость горения пороха u_1 при давлении $p = 1$ *кг/дм²*.

Скорость горения u_1, так же как сила и коволюм, зависит от физико-химических свойств пороха и главным образом от его химического состава. Для нитроглицериновых порохов, в зависимости от содержания в них нитроглицерина, u_1 имеет величину от $0{,}0_4100$ до $0{,}0_4200$ *дм/сек*.

Скорость горения u_1 (при $p = 1$) пироксилиновых порохов зависит от содержания азота в пироксилине и от содержания летучих веществ. Так как содержание летучих веществ в пироксилиновых порохах зависит от толщины горящего свода порохового зерна $2e_1$, то в первом приближении, пренебрегая различием в содержании азота, скорость горения пироксилиновых порохов u_1 при $p = 1$ может быть выражена в зависимости от $2e_1$. В таблице 23 дана зависимость u_1 от $2e_1$ для наиболее типичных толщин порохов.

Таблица 23

Зависимость u_1 от $2e_1$ для наиболее типичных толщин порохов

$2e_1$ в *мм*	0,1	0,3	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	Флегматизированные	
								0,3	0,7
$u_1 \cdot 10^7$ в *дм/сек*	90	84	80	75	70	65	62	72	70

Скорость горения u_1 при $p = 1$ определяется также на основании опытов в манометрической бомбе, о чем будет сказано дальше.

3. Общая формула пиростатики

Рассмотренная выше формула Нобля и Эйбля относится к моменту достижения наибольшего давления, когда сгорел весь порох.

Для определения давления в какой-либо промежуточный момент, когда только часть пороха превратилась в газы, воспользуемся той же формулой, заменив в ней Δ через $\frac{\omega}{W_0}$. Тогда

$$p_m = \frac{f\omega}{W_0 - \alpha\omega}.$$

Знаменатель этой формулы представляет свободный объем того пространства, в котором могут двигаться молекулы газов.

Пусть к рассматриваемому моменту сгорела относительная часть заряда $\psi = \frac{\omega_{сг}}{\omega}$ и осталась несгоревшей часть пороха $1 - \psi$ (ψ изменяется во время горения от 0 до 1, а $1 - \psi$ изменяется от 1 до 0). Вес сгоревшей части ψ будет $\omega\psi$ килограммов, а вес несгоревшей $\omega(1 - \psi)$ килограммов.

Для некоторого момента, когда сгорит относительная часть заряда ψ, числитель выражения для p_m примет вид $f\omega\psi$. В знаменателе нужно написать свободный объем, который занимают газы к этому моменту. Он будет равен объему каморы (бомбы) за вычетом объема несгоревшей части пороха и коволюма сгоревшего пороха.

Объем несгоревшей части пороха получаем, разделив $\omega(1 - \psi)$ на плотность пороха δ:

$$\frac{\omega(1 - \psi)}{\delta}.$$

Таким образом, для момента, когда сгорит часть заряда ψ, получим формулу для некоторого промежуточного давления p_ψ:

$$p_\psi = \frac{f\omega\psi}{W_0 - \frac{\omega}{\delta}(1 - \psi) - \alpha\omega\psi}. \tag{8}$$

Соединяя в знаменателе члены с ψ, получим общую формулу пиростатики, или уравнение состояния газов для некоторого момента:

$$p_\psi = \frac{f\omega\psi}{W_0 - \frac{\omega}{\delta} - \omega\psi\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)} = \frac{f\omega\psi}{W_\psi},$$

где $W_\psi = W_0 - \frac{\omega}{\delta} - \omega\psi\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)$ — свободный объем каморы (бомбы) для момента, когда сгорит часть пороха ψ.

Поделив числитель и знаменатель на W_0 и заменив $\frac{\omega}{W_0}$ через Δ, получим формулу (8) в другом виде:

$$p_\psi = \frac{f\Delta\psi}{1 - \frac{\Delta}{\delta} - \Delta\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\psi}. \tag{9}$$

Исследование формулы (8) показывает, что по мере сгорания пороха свободный объем W_ψ убывает и, следовательно, давление p_ψ растет не пропорционально сгоревшей части ψ, а быстрее.

4. Понятие о приведенных длинах

При решении задач пиродинамики для возможности выражения зависимости скорости снаряда v и давления p непосредственно от пути снаряда l вводится понятие о приведенных размерах каморы.

На рис. 25 схематически изображена камора орудия W_0. В начале снаряд находится в положении перед выстрелом. Фактическая длина каморы $l_{км}$ равна расстоянию от дна снаряда до дна каморы.

Объем каморы можно представить как объем некоторого прямого цилиндра, равновеликого объему W_0, с поперечным сечением, равным поперечному сечению канала ствола s (включая и нарезы). Высота этого цилиндра называется приведенной длиной каморы и обозначается через l_0.

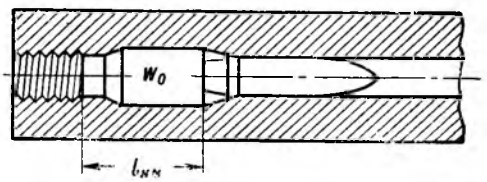


Рис. 25. Зарядная камора

Следовательно, имеем:

$$W_0 = sl_0 \text{ и } l_0 = \frac{W_0}{s}. \tag{10}$$

Заряд весом ω килограммов занимает в каморе объем $\frac{\omega}{\delta}$, где δ — плотность пороха. Этот объем $\frac{\omega}{\delta}$ можно также представить как объем цилиндра с тем же основанием s; высота этого цилиндра будет $\frac{\omega}{\delta s}$, и так как заряд занимает лишь часть объема каморы, то $\frac{\omega}{\delta s} < l_0$ (рис. 26). Длина $\frac{\omega}{\delta s}$ называется приведенной длиной заряда.

Остальная часть объема каморы, которой соответствует высота цилиндра l_Δ, есть свободный объем каморы в начале горения. l_Δ называется приведенной длиной начального свободного объема каморы.

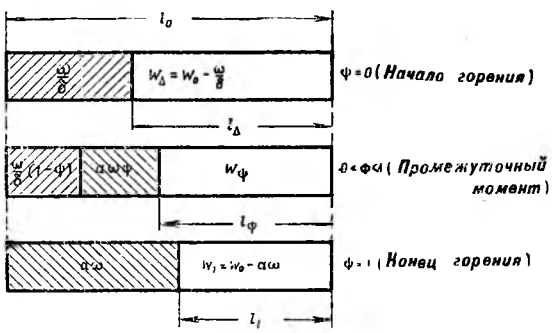


Рис. 26. Изменение свободного объема каморы в процессе горения пороха

Таким образом, для начала горения можно написать:

$$l_0 = \frac{\omega}{\delta s} + l_\Delta. \tag{11}$$

По мере горения пороха объем, занимаемый зарядом, будет постепенно уменьшаться. Вместо сгоревшего пороха будут появляться продукты его горения, причем необходимо учитывать их коволюм, величина которого будет возрастать ($\alpha\omega\psi$) и к концу горения станет равной $\alpha\omega$. Этому объему соответствует приведенная длина коволюма $\frac{\alpha\omega}{s}$. Остальной объем (рис. 26) будет свободным пространством в конце горения, и ему соответствует высота цилиндра этой части объема l_1, которая называется приведенной длиной свободного пространства в конце горения.

Для конца горения

$$l_0 = \frac{\alpha\omega}{s} + l_1 . \tag{12}$$

В какой-то промежуточный момент, когда сгорела часть заряда ψ, приведенная длина свободного объема обозначается через l_ψ.

$$l_\psi = \frac{W_\psi}{s} . \tag{13}$$

В соответствии с изменением свободного объема от $W_\Delta = W_0 - \frac{\omega}{\delta}$ в начале горения до $W_1 = W_0 - \alpha\omega$ в конце горения приведенная длина свободного объема изменяется от

$$l_\Delta = \frac{1}{s}\left(W_0 - \frac{\omega}{\delta}\right) = \frac{1}{s} W_\Delta = l_0\left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right) \tag{14}$$

в начале горения при $\psi = 0$ до

$$l_1 = \frac{1}{s}(W_0 - \alpha\omega) = \frac{W_1}{s} = l_0(1 - \alpha\Delta) \tag{15}$$

в конце горения при $\psi = 1$.

Для промежуточного момента

$$l_\psi = \frac{W_0 - \frac{\omega}{\delta} - \omega\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\psi}{s} = \frac{W_\psi}{s} = l_\Delta - (l_\Delta - l_1)\psi . \tag{16}$$

Выше было показано, что

$$W_\Delta \geqslant W_\psi \geqslant W_1 .$$

Следовательно,

$$l_\Delta \geqslant l_\psi \geqslant l_1 .$$

ГЛАВА III

ЗАКОНЫ ГОРЕНИЯ ПОРОХА

1. Горение пороха

В процессе горения пороха различают три фазы: зажжение, воспламенение и горение.

Зажжение состоит в сообщении пороху такого начального импульса (нагрев, удар), при котором он загорается хотя бы в одной точке; при этом выделяется достаточное количество тепла для продолжения реакции горения. Бездымные пороха загораются при температуре ~ 200° С, дымные — при температуре ~ 300° С.

Воспламенение — процесс распространения реакции горения по поверхности порохового зерна.

Горение — распространение реакции горения в глубь порохового зерна.

Скорость воспламенения дымных порохов во много раз больше, чем скорость их горения. На открытом воздухе скорость воспламенения дымных порохов $u_в$ достигает 1—3 *м/сек*, в то время как скорость их горения u равна всего около 1 *см/сек*, т. е. в 100—300 раз меньше.

У бездымных же порохов скорость воспламенения на открытом воздухе $u_в = 2 - 3$ *мм/сек*, а скорость горения $u = 1$ *мм/сек*, т. е. значительно меньше, чем у дымных порохов.

При применении воспламенителей, создающих высокое предварительное давление и дающих газы высокой температуры, процесс воспламенения даже бездымного пороха начинается сразу по всей поверхности, и поэтому можно считать, в первом приближении, процесс воспламенения в таких условиях мгновенным.

Скорости воспламенения и горения зависят от природы пороха и, главным образом, от давления, при котором происходит процесс горения, и от температуры газов, окружающих порох.

Основное отличие пороха от бризантных взрывчатых веществ состоит в том, что горение его происходит с конечной, относительно небольшой, скоростью и притом параллельными или концентрическими слоями. Это последнее свойство порохов позволяет регулировать приток газов при горении и тем самым управлять процессом нарастания давления газов при данных условиях заряжания. Вьель, разработавший бездымные пироксилиновые пороха, на основании наблюдений над выброшенными из канала ствола остатками пороховых зерен и опытов в манометрической бомбе сформулировал теорию горения бездымных порохов в замкнутом объеме.

Основные положения этой теории следующие:

1) воспламенение пороха в замкнутом объеме происходит мгновенно;

2) горение бездымных порохов идет концентрическими слоями с одинаковой скоростью со всех сторон.

2. Закон скоростей горения

Законом скоростей горения называют функциональную зависимость скорости горения пороха u от давления p. Вьель на основе испытаний порохов в манометрической бомбе дал для скорости горения выражение

$$u = Ap^{\nu}, \tag{17}$$

где A и ν — константы, зависящие от природы пороха.

Шмитц, сжигая в большой бомбе пороха трубчатой формы и применяя для определения давления упругий манометр с оптической регистрацией, доказал на опыте справедливость закона

$$u = Ap. \tag{18}$$

Проведя опыты по сжиганию одного и того же пороха при $\Delta = 0{,}12 \div 0{,}26$ и измерив площади полученных кривых p, t, т. е. величины $\int_0^{t_к} p\,dt$, Шмитц нашел, что эти площади равновелики (рис. 27). Это подтверждает справедливость закона скоростей горения $u = Ap$, так как

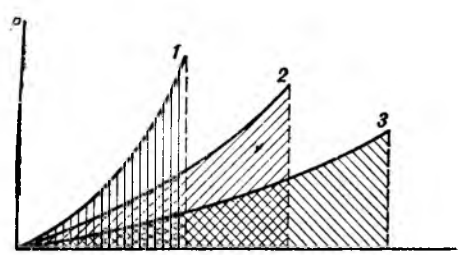


Рис. 27. Площади кривых давления в функции от времени при различных плотностях заряжания для одного и того же пороха равновелики

$$\frac{de}{dt} = Ap = u,$$

откуда

$$de = Ap\,dt;$$

интегрируя последнее равенство в пределах от 0 до e_1 и от 0 до $t_к$, получим:

$$\int_0^{e_1} de = A\int_0^{t_к} p\,dt,$$

$$e_1 = A\int_0^{t_к} p\,dt,$$

откуда

$$\int_0^{t_к} p\,dt = \frac{e_1}{A} = \text{const.}$$

Таким образом, Шмитц на опыте доказал справедливость закона $u = Ap$ и установил, что „импульс давления $I_к = \int_0^{t_к} p\,dt$ пороховых газов пропорционален толщине сгоревшего слоя зерна, обратно пропорционален коэфициенту скорости горения A и не зависит от плотности заряжания".

Это свойство импульса давления называют „законом Шмитца". Проведенные у нас опыты подтвердили закон Шмитца.

Таким образом, будем считать, что скорость распространения реакции в глубь зерна пропорциональна первой степени давления и выражается формулой

$$u = Ap,$$

где A — скорость горения при $p = 1$. В дальнейшем будем обозначать ее через u_1; размерность ее $\frac{дм}{сек} : \frac{кг}{дм^2}$.

Величина u_1 зависит от природы пороха и изменяется с изменением содержания летучих веществ, азота и нитроглицерина в порохе. Значение u_1 растет с увеличением процента азота и нитроглицерина в порохе и убывает с увеличением процента растворителя. Так как в толстых пироксилиновых порохах растворителя больше, то они горят медленнее, чем более тонкие пороха.

Зная величину $\int_0^{t_к} p\,dt$ из опыта в манометрической бомбе, а величину e_1 — на основании обмера, величину u_1 легко найти из зависимости

$$u_1 = \frac{e_1}{\int_0^{t_к} p\,dt}. \qquad (19)$$

3. Быстрота газообразования

Быстротой газообразования, или объемной скоростью горения, называют величину $\frac{d\psi}{dt}$, характеризующую относительную часть объема пороха, сгорающего и превращающегося в газы в единицу времени. Анализ этой величины позволяет выяснить, за счет чего можно регулировать приток газов при горении пороха.

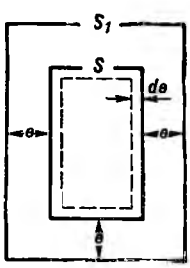


Рис. 28. Горение порохового зерна

Пусть пороховое зерно произвольной формы горит, по закону Вьеля, параллельными слоями с одинаковой скоростью со всех сторон. Обозначим (рис. 28) начальный объем и начальную поверхность зерна через Δ_1 и S_1, а значения их в текущий момент — через Δ и S. Пусть за промежуток времени dt сгорит слой толщиной de. Приращение объема за это время будет:

$$d\Delta = S\,de.$$

Разделив это равенство почленно на Δ_1 и dt и имея в виду, что

$$\frac{d\Lambda}{\Lambda_1} = d\frac{\Lambda}{\Lambda_1} = d\psi, \text{ а } \frac{de}{dt} = u = u_1 p,$$

получим:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S}{\Lambda_1} u = \frac{S}{\Lambda_1} u_1 p.$$

Умножив и разделив правую часть на S_1 и перегруппировав члены, найдем:

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1}{\Lambda_1} \cdot \frac{S}{S_1} u_1 p, \tag{20}$$

где $\frac{S_1}{\Lambda_1}$ — начальная оголенность порохового зерна, или удельная начальная поверхность, зависящая от формы и размеров пороховых зерен;

$\frac{S}{S_1}$ — относительная поверхность, зависящая от формы порохового зерна.

Таким образом, формула (20) показывает, что быстрота газообразования $\frac{d\psi}{dt}$ зависит:

1) от размеров и формы зерен пороха $\left(\frac{S_1}{\Lambda_1}, \frac{S}{S_1}\right)$;
2) от природы пороховой массы (u_1);
3) от состояния среды, в которой происходит горение (p).

При порохе данной природы (f; α; δ; u_1) регулировать приток газов в единицу времени можно за счет плотности заряжания Δ, либо за счет размеров и формы пороховых зерен.

4. Закон образования газов

Закон образования газов выражает зависимость между сгоревшей относительной частью пороха ψ и относительной толщиной слоя зерна пороха $z = \frac{e}{e_1}$, сгоревшего к тому же моменту.

Исследования показывают, что для всех форм порохов зависимость ψ от z выражается формулой одного и того же вида:

$$\psi = \varkappa z (1 + \lambda z + \mu z^2), \tag{21}$$

где $\varkappa$, λ и μ — характеристики формы — постоянные числа, зависящие от формы зерна. У каждой формы зерна они имеют свое особое численное значение, присущее данной форме зерна.

Во время горения толщина e изменяется от 0 до e_1, относительная толщина z — от 0 до 1, относительная сгоревшая часть ψ — от 0 до 1.

Выведем зависимость ψ от z для пороха ленточной формы. Введем обозначения:

толщина ленты . . . . . $2e_1$
ширина ленты . . . . . $2b$
длина ленты . . . . . $2c$

$$\frac{2e_1}{2b} = \alpha$$

$$\frac{2e_1}{2c} = \beta$$

Величины α и β характеризуют растянутость ленты по ширине и длине.

Так как

$$2e_1 < 2b < 2c,$$

то

$$1 > \alpha > \beta > 0.$$

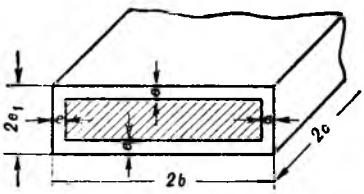


Рис. 29. Горение порохового зерна ленточной формы

Пусть к данному моменту со всех сторон сгорит слой пороха толщиной e. Так как сгоревший объем легче определить как разность между начальным объемом Λ_1 и оставшимся объемом $\Lambda_{ост}$, то будем иметь (рис. 29):

$$\psi = \frac{\Lambda_{сг}}{\Lambda_1} = \frac{\Lambda_1 - \Lambda_{ост}}{\Lambda_1} = 1 - \frac{\Lambda_{ост}}{\Lambda_1}; \qquad (22)$$

$$\Lambda_1 = 2e_1 \cdot 2b \cdot 2c = 8e_1 \cdot b \cdot c;$$

$$\Lambda_{ост} = (2e_1 - 2e)(2b - 2e)(2c - 2e);$$

$$\frac{\Lambda_{ост}}{\Lambda_1} = \frac{e_1 - e}{e_1} \cdot \frac{(b-e)}{b} \cdot \frac{(c-e)}{c} = \left(1 - \frac{e}{e_1}\right)\left(1 - \frac{e}{b}\right)\left(1 - \frac{e}{c}\right).$$

Так как

$$\frac{e}{e_1} = z; \quad \frac{e}{b} = \frac{e_1}{b} \cdot \frac{e}{e_1} = \alpha z; \quad \frac{e}{c} = \frac{e_1}{c} \cdot \frac{e}{e_1} = \beta z,$$

то

$$\frac{\Lambda_{ост}}{\Lambda_1} = (1 - z)(1 - \alpha z)(1 - \beta z).$$

Раскрывая скобки, находим:

$$\frac{\Lambda_{ост}}{\Lambda_1} = 1 - (1 + \alpha + \beta) z + (\alpha + \beta + \alpha\beta) z^2 - \alpha\beta z^3. \qquad (23)$$

Подставляя выражение (23) в (22), имеем:

$$\psi = (1 + \alpha + \beta) z - (\alpha + \beta + \alpha\beta) z^2 + \alpha\beta z^3,$$

или, приводя к общему виду уравнения (21), получим:

$$\psi = (1 + \alpha + \beta) z \left[1 - \frac{\alpha + \beta + \alpha\beta}{1 + \alpha + \beta} z + \frac{\alpha\beta}{1 + \alpha + \beta} z^2\right].$$

Вводя обозначения

$$1 + \alpha + \beta = \varkappa; \quad -\frac{\alpha + \beta + \alpha\beta}{1 + \alpha + \beta} = \lambda; \quad \frac{\alpha\beta}{1 + \alpha + \beta} = \mu,$$

получаем формулу общего вида:

$$\psi = \varkappa z (1 + \lambda z + \mu z^2).$$

Значит, она справедлива для ленточных порохов.

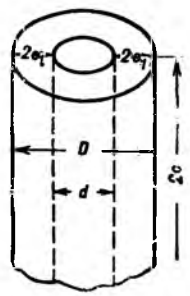


Рис. 30. Пороховое зерно трубчатой формы

В конце горения $z = 1$, $\psi = 1$, и формула (21) принимает вид равенства:

$$1 = \varkappa (1 + \lambda + \mu),$$

которому должны удовлетворять числовые характеристики $\varkappa$, λ и μ.

Характеристики формы для трубчатого пороха можно получить как частный случай из характеристик ленты, у которой нет изменения размера в направлении ширины (рис. 30), что равносильно случаю $\alpha = 0$.

Подставляя в выведенные выше характеристики формы для ленточного пороха $\alpha = 0$, получаем следующие характеристики для трубчатого пороха:

$$\varkappa = 1 + 0 + \beta = 1 + \beta;$$

$$\lambda = -\frac{0 + \beta + 0}{1 + \beta} = -\frac{\beta}{1 + \beta};$$

$$\mu = 0.$$

Следует отметить, что $\varkappa$ и λ для трубки зависят только от толщины стенок $2e_1$ и длины трубки $2c$ и не зависят от диаметра канала.

Как частные случаи ленты, можно получить следующие формы порохов:

а) квадратная пластинка . . . . . $2b = 2c$; $\alpha = \beta < 1$;
б) квадратный брусок . . . . . $2e_1 = 2b$; $\alpha = 1$; $\beta < 1$;
в) куб . . . . . $2e_1 = 2b = 2c$; $\alpha = \beta = 1$.

Характеристики всех этих форм, а также трубки и ленты приведены в таблице 24.

Таблица 24

Характеристики различных форм пороховых зерен

Форма пороха	$\varkappa$	$-\lambda$	μ
Трубка	$1+\beta$	$\frac{\beta}{1+\beta}$	0
Лента	$1+\alpha+\beta$	$\frac{\alpha+\beta+\alpha\beta}{1+\alpha+\beta}$	$\frac{\alpha\beta}{1+\alpha+\beta}$
Квадратная пластинка	$1+2\beta$	$\frac{2\beta+\beta^2}{1+2\beta}$	$\frac{\beta^2}{1+2\beta}$
Квадратный брусок	$2+\beta$	$\frac{1+2\beta}{2+\beta}$	$\frac{\beta}{2+\beta}$
Куб	3	1	$\frac{1}{3}$

Таблица показывает, что при переходе от трубки к кубу все характеристики возрастают: $\varkappa$ — от 1 до 3, λ — от правильной дроби до 1, μ — от 0 до $\frac{1}{3}$.

Имея формулу

$$\psi = \varkappa z (1 + \lambda z + \mu z^2),$$

можно, задаваясь значениями z, подсчитать величины ψ и построить диаграмму $\psi = f(z)$.

Для приведенных в таблице 24 характеристик порохов различных форм кривые будут иметь вид, показанный на рис. 31. Из рисунка видно, что кубическая форма пороха (кривая 5) является наиболее дегрессивной, а трубчатая форма (кривая 1) — наиболее равномерно горящей.

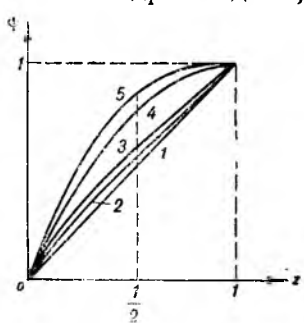


Рис. 31. Изменение относительной сгоревшей части ψ порохового зерна в зависимости от относительной толщины сгоревшего слоя z для различных форм порохового зерна:

1 — трубка; *2* — лента; *3* — квадратная пластинка; *4* — квадратный брусок; *5* — куб

Расчеты показывают, что у ленточных порохов коэфициент μ мал и член μz^2 не влияет существенно на закон изменения ψ. Поэтому для упрощения формул без ущерба для точности расчетов можно принять двухчленную зависимость ψ от z. Но отбрасывая член μz^2, необходимо изменить характеристики $\varkappa$ и λ. Обозначим их соответственно через $\varkappa_1$ и λ_1. Эти характеристики находят из условия, чтобы двухчленная формула

$$\psi = \varkappa_1 z (1 + \lambda_1 z) \qquad (24)$$

при $z = 1$ и при $z = 0{,}5$ давала те же значения, что и трехчленная формула

$$\psi = \varkappa z (1 + \lambda z + \mu z^2).$$

В таком случае будем иметь:
при $z = 1$

$$\varkappa(1 + \lambda + \mu) = 1 = \varkappa_1(1 + \lambda_1),$$

при $z = 0{,}5$

$$\frac{\varkappa}{2}\left(1 + \frac{\lambda}{2} + \frac{\mu}{4}\right) = \frac{\varkappa_1}{2}\left(1 + \frac{\lambda_1}{2}\right). \tag{25}$$

Решая эту систему относительно $\varkappa_1$, имеем:

$$\varkappa_1 = 2\varkappa + \varkappa\lambda + \frac{\varkappa\mu}{2} - 1.$$

Подставив в это выражение значения $\varkappa$, λ и μ и преобразовывая соответствующим образом, получим:

$$\varkappa_1 = (1 + \alpha + \beta)\left[1 - \frac{\alpha\beta}{2(1 + \alpha + \beta)}\right],$$

откуда

$$\varkappa_1 = \varkappa\left(1 - \frac{\mu}{2}\right), \tag{26}$$

и из уравнения (25):

$$\lambda_1 = \frac{1}{\varkappa_1} - 1. \tag{27}$$

При характеристиках $\varkappa_1$ и λ_1 значения ψ, рассчитанные для одних и тех же z по двухчленной и трехчленной формулам, совпадают в четвертом знаке после запятой.

В дальнейшем примем обозначения характеристик $\varkappa$ и λ для двухчленной зависимости без индекса „1".

5. Закон изменения величины поверхности порохового зерна при горении

Формула (24) $\psi = \varkappa z(1 + \lambda z)$ является общей формулой для всех форм пороха. Выведем формулу для относительной поверхности пороха $\sigma = \frac{S}{S_1}$ и начальной оголенности $\frac{S_1}{\Lambda_1}$, характеризующих влияние формы и размеров пороха на быстроту газообразования.

Дифференцируя уравнение (24) по z, получаем:

$$\frac{d\psi}{dz} = \varkappa(1 + 2\lambda z), \tag{28}$$

но

$$\frac{d\psi}{dz} = \frac{d\psi}{dt} \cdot \frac{dt}{dz}$$

и

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{S_1}{\Lambda_1} \cdot \frac{S}{S_1} u; \quad u = \frac{de}{dt}; \quad \frac{dz}{dt} = \frac{d\frac{e}{e_1}}{dt} = \frac{1}{e_1} \cdot \frac{de}{dt} = \frac{u}{e_1},$$

следовательно,

$$\frac{d\psi}{dz} = \frac{S_1}{\Lambda_1} \cdot \frac{S}{S_1} u \frac{e_1}{u} = \frac{S_1}{\Lambda_1} e_1 \frac{S}{S_1}.$$

Подставляя полученное значение $\frac{d\psi}{dz}$ в левую часть уравнения (28), получим:

$$\frac{S_1}{\Lambda_1} e_1 \frac{S}{S_1} = \varkappa(1 + 2\lambda z). \tag{29}$$

В начале горения $z = 0$, $S = S_1$ и $\frac{S}{S_1} = 1$. Тогда уравнение (29) для начала горения напишется так:

$$\frac{S_1}{\Lambda_1} e_1 = \varkappa. \tag{30}$$

Разделив почленно уравнение (29) на (30), получим искомую зависимость

$$\sigma = \frac{S}{S_1} = 1 + 2\lambda z. \tag{31}$$

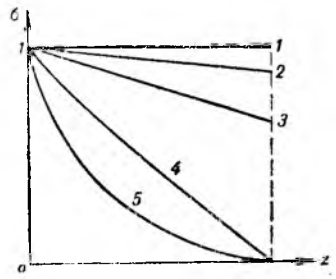


Рис. 32. Изменение относительной поверхности σ порохового зерна в зависимости от относительной толщины сгоревшего слоя z для различных форм порохового зерна:

1 — трубка; *2* — лента; *3* — квадратная пластинка; *4* — квадратный брусок; *5* — куб

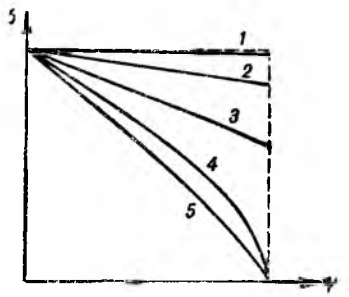


Рис. 33. Изменение относительной поверхности σ порохового зерна в зависимости от относительной сгоревшей части порохового зерна ψ для различных форм порохового зерна:

1 — трубка; *2* — лента; *3* — квадратная пластинка; *4* — квадратный брусок; *5* — куб

В начале горения, при $z = 0$

$$\sigma = 1;$$

в конце горения, при $z = 1$

$$\sigma_к = \frac{S_к}{S_1} = 1 + 2\lambda.$$

Определив z из уравнения (24) и подставляя его в уравнение (31), получаем выражение для σ через ψ в следующем виде:

$$\sigma = \sqrt{1 + 4\frac{\lambda}{\varkappa}\psi}. \tag{32}$$

На рис. 32 и 33 даны диаграммы σ, z и σ, ψ для порохов с различной формой зерен.

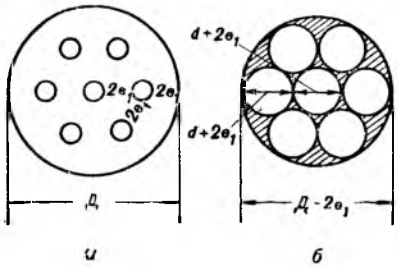
6. Пороха прогрессивной формы

У всех рассмотренных дегрессивных порохов, кроме трубчатых, поверхность при горении только убывает. Трубчатые пороха представляют особенность в том отношении, что у них поверхность канала при горении увеличивается, частично компенсируя тем самым убывание наружной поверхности. Если бы трубка не укорачивалась при горении с торцов, то такой порох можно бы было назвать порохом с постоянной поверхностью горения.

Это свойство трубчатых порохов указывает путь к получению порохового зерна прогрессивной формы, горящего с возрастанием поверхности. Для этого нужно взять зерно не с одним, а с несколькими каналами, возрастание поверхностей которых будет перекрывать уменьшение наружной поверхности.

На этом принципе и построено зерно американской формы с семью каналами; в нем один канал — центральный — расположен по оси зерна и частично компенсирует убывание наружной поверхности, а шесть кана-

лов, расположенных по окружности в вершинах правильного шестиугольника, дают при горении приращение поверхности. Наружная поверхность и поверхности каналов расположены друг от друга на расстоянии $2e_1$ (рис. 34). При таком расположении сводов (наименьшем расстоянии между каналами и наружной поверхностью) обеспечивается их одновременное сгорание. Толщина свода $2e_1$ делается обычно равной удвоенному диаметру каналов, т. е. $2e_1 = 2d$.



а *б*

Рис. 34. Поперечный разрез порохового зерна американской формы с семью каналами

Горение от поверхности каналов идет концентрическими поверхностями, дающими в сечении окружности. Когда порох сгорит на толщину e_1 во всех направлениях (окружности встретятся, — см. рис. 34, *б*), происходит распад зерна на 12 прутков криволинейного сечения. Эти элементы распада горят уже с резким убыванием горящей поверхности, т. е. дегрессивно.

При принятой толщине свода $2e_1 = 2d$ увеличение поверхности к моменту распада составляет около 37% $\left(\frac{S_s}{S_1} = 1{,}37\right.$, где S_s — горящая поверхность в момент распада$\left.\right)$; к этому моменту, при правильном расположении каналов, сгорит примерно 85% зерна ($\psi_s = 0{,}85$). Следовательно, около 15% зерна горит дегрессивно.

При неправильно расположенных каналах распад начинается неодновременно. Сначала сгорают своды наименьшей толщины, а затем постепенно сгорают более толстые своды. В зависимости от этого максимальное значение S_s получается меньшим, чем в нормальном зерне. При этом получается и меньшее значение ψ_s.

Горение прогрессивных порохов распадается на две резко отличающиеся фазы: 1) до распада, когда z изменяется от 0 до 1, а ψ — от 0 до $\psi_s < 1$, причем горение идет с возрастанием поверхности; 2) после распада зерна, когда z изменяется от 1 до $z_к = \frac{e_1 + \rho}{e_1}$ (где ρ — радиус окружности, вписанной в сечение внутренних призмочек распада), а ψ меняется от ψ_s до 1, причем горение идет с убыванием поверхности.

Зерно Уолша представляет собой улучшенное американское зерно с семью каналами, у которого наружный обвод представляет не одну цилиндрическую поверхность, а образуется шестью цилиндрическими поверхностями, концентричными каналам, как показано на рис. 35.

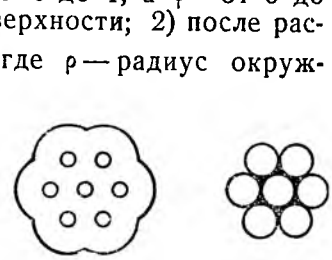


Рис. 35. Поперечный разрез порохового зерна формы Уолша

Из рисунка видно, что линейные размеры продуктов распада в этом зерне получаются значительно меньшими, чем у обыкновенного американского зерна. Подсчеты показывают, что $\psi_s = 0{,}95$, т. е. 95% зерна горит прогрессивно и только 5% — дегрессивно.

Опытное исследование горения порохов прогрессивной формы показывает, что действительный процесс горения порохов этой формы значительно отклоняется от основных положений геометрического закона горения и быстрота газообразования $\frac{d\psi}{dt} = \frac{\varkappa}{e_1} \omega u_1 p$ не возрастает, как это следует, исходя из геометрических соображений, а убывает. Чем уже и длиннее канал, тем дегрессивнее горит зерно, несмотря на прогрессивность его формы.

Объясняется это явление тем, что образующиеся при сгорании пороха в узких и длинных каналах газы не успевают целиком выходить из каналов и создают в них повышенное давление по сравнению с давле-

нием на наружной поверхности, что приводит к более быстрому разрушению порохового зерна.

Опыт применения зерненых порохов с каналами показывает, что давление в канале ствола при их применении развивается примерно по тому же закону, что и при применении ленточных порохов, но при рациональном подборе соотношения диаметра и длины каналов можно добиться уменьшения дегрессивности горения.

ГЛАВА IV

РАБОТА ПОРОХОВЫХ ГАЗОВ В КАНАЛЕ СТВОЛА

1. Баланс энергии при выстреле

Рассмотрим, каков будет баланс энергии за некоторый промежуток t, когда сгорела часть ψ заряда ω и снаряд весом q прошел путь l и имеет скорость v. Температура горения пороха T_1. Так как газы к концу промежутка времени совершили работу и охладились, то средняя их температура T будет меньше T_1.

При сгорании $\omega\psi$ *кг* пороха выделяется $Q\omega\psi$ *Кал* тепла, эквивалентных работе $EQ\omega\psi$ *кгдм*, где $E = 4\,270$ *кгдм/Кал* — механический эквивалент тепла.

Если обозначить среднюю теплоемкость в постоянном объеме через c_w, то $Q = c_w T_1$ и величина

$$\varepsilon = EQ\omega\psi = Ec_w T_1 \omega\psi \tag{33}$$

представляет собой условно полный запас внутренней энергии, заключенной в $\omega\psi$ *кг* пороховых газов, которую можно было бы полностью превратить в работу при понижении температуры газов до абсолютного нуля.

В действительности же это количество газов, совершив к данному моменту работу на сообщение движения снаряду и ряд других второстепенных работ, охладится не до нуля, а до некоторой температуры T, и следовательно, в них будет содержаться запас еще не израсходованной энергии, которая в дальнейшем может быть превращена в работу. Этот условный запас еще не израсходованной энергии выразится формулой

$$\varepsilon' = Ec_w T\omega\psi. \tag{34}$$

Энергия, израсходованная к данному моменту, будет равна разности двух величин энергии: ε и ε', т. е.

$$\varepsilon - \varepsilon' = Ec_w T_1\omega\psi - Ec_w T\omega\psi. \tag{35}$$

Бо́льшая часть этой энергии превращается в кинетическую энергию поступательного движения снаряда:

$$\varepsilon_1 = \frac{mv^2}{2}.$$

Остальная часть энергии пороховых газов расходуется на совершение второстепенных работ:

ε_2 — на сообщение снаряду вращательного движения;

ε_3 — на преодоление трения между пояском снаряда и поверхностью канала ствола, а также на преодоление трения между стенками снаряда и полями нарезов;

ε_4 — на перемещение газообразных продуктов и несгоревшего пороха;

ε_5 — на перемещение откатных частей.

Кроме того, энергия пороховых газов затрачивается: на работу по врезанию ведущего пояска в нарезы, на нагревание стенок ствола путем теплоотдачи, на преодоление сопротивления воздуха, находящегося в канале. Часть энергии расходуется при прорыве газов между ведущим пояском и стенками канала.

Из всех перечисленных второстепенных работ при решении основной задачи работы ε_2, ε_3, ε_4, ε_5 учитываются непосредственно. Работа на врезание ведущего пояска в нарезы учитывается косвенно, путем подбора соответствующей величины давления форсирования p_0.

Подробное исследование показывает, что работы ε_2, ε_3, ε_4, ε_5 пропорциональны главному виду работы, т. е. работе $\varepsilon_1 = \frac{mv^2}{2}$. Поэтому, если каждую из всех этих четырех работ представить в виде

$$\varepsilon_i = k_i \frac{mv^2}{2},$$

где k_i — коэфициент пропорциональности, то общий расход непосредственно учитываемой энергии может быть представлен в виде

$$\sum_1^5 \varepsilon_i = \sum_1^5 k_i \frac{mv^2}{2} = \frac{mv^2}{2}(1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5). \tag{36}$$

Сумма коэфициентов в выражении (36) обозначается через φ:

$$\varphi = 1 + k_2 + k_3 + k_4 + k_5.$$

Коэфициент φ учитывает второстепенные работы. Его числовая величина для обычных орудий (в зависимости от условий заряжания) колеблется в пределах от 1,05 до 1,20.

Практически с достаточной точностью (за исключением сверхдальнобойных систем) коэфициент φ можно рассчитать по формуле

$$\varphi = k + \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega}{q}, \tag{37}$$

где k — сумма всех k_i, кроме k_4, который отдельно выражен через $\frac{1}{3} \cdot \frac{\omega}{q}$.

Значение k изменяется в зависимости от типа орудия:

для гаубиц . . . . . $k = 1{,}06$
„ пушек средней мощности . . . . . $k = 1{,}04$ ($v_д$ до 650 *м/сек*)
„ „ большой „ . . . . . $k = 1{,}03$ ($v_д$ больше 650 *м/сек*)

Вводя коэфициент φ в уравнение баланса энергии при выстреле, получим

$$Ec_w T_1 \omega\psi - Ec_w T \omega\psi = \frac{\varphi m v^2}{2}. \tag{38}$$

Это уравнение показывает, что энергия пороховых газов израсходовалась на сообщение живой силы снаряду с массой φm, причем $\varphi m > m$.

Таким образом, вводя коэфициент φ, рассматривают не действительное движение снаряда с учетом второстепенных работ газов, а поступательное движение снаряда с той же скоростью, но более тяжелого, имеющего „фиктивную массу“ φm. Расход энергии при этом остается тот же. Коэфициент φ называют коэфициентом фиктивности массы.

2. Основное уравнение пиродинамики

Уравнение баланса энергии (38) дает связь между сгоревшей частью заряда ψ, скоростью снаряда v и температурой газов, образовавшихся к данному моменту и находящихся в заснарядном пространстве. Длина

пути снаряда l и давление газов p сюда не входят. Между тем основной задачей пиродинамики является нахождение зависимости между путем l, проходимым снарядом, скоростью его v и давлением p, которое газы производят на снаряд и на стенки канала ствола.

Поэтому уравнение баланса энергии надо преобразовать так, чтобы оно давало связь между указанными величинами.

При этом делается основное допущение, что c_w при температуре T и при температуре T_1 равны между собой.

Из термодинамики известно, что

$$c_p - c_w = AR = \frac{R}{E},$$

откуда

$$E = \frac{R}{c_p - c_w},$$

где R — газовая постоянная,

$\frac{c_p}{c_w} = k$ — отношение теплоемкостей (показатель адиабаты).

Введем для упрощения обозначение $k - 1 = \theta$, тогда:

$$Ec_w = \frac{R}{\theta}. \tag{39}$$

Подставляя уравнение (39) в (38), получим:

$$\frac{R}{\theta} T_1 \omega\psi - \frac{R}{\theta} T\omega\psi = \frac{\varphi m v^2}{2}. \tag{40}$$

Исключим из этого уравнения переменную T. Для этого заменим выражение $RT\omega\psi$ на основе уравнения состояния пороховых газов для данного момента, соответствующего сгоревшей части заряда ψ:

$$pW = RT\omega\psi, \tag{41}$$

где W — свободный объем заснарядного пространства в данный момент.

$$W = W_0 + sl - \alpha\omega\psi - \frac{\omega}{\delta}(1 - \psi) =$$

$$= W_0 - \alpha\omega\psi - \frac{\omega}{\delta}(1 - \psi) + sl = W_\psi + sl; \tag{42}$$

здесь W_ψ — свободный объем каморы к моменту сгорания в ней части заряда ψ;

S — площадь сечения канала орудия;

sl — объем, который прибавился при перемещении снаряда на величину пути l.

Подставляя теперь уравнение (42) в (41), а затем уравнение (41) в (40) и имея в виду, что $RT_1 = f$, получим:

$$\frac{f}{\theta}\omega\psi - \frac{p(W_\psi + sl)}{\theta} = \frac{\varphi m v^2}{2}. \tag{43}$$

Это и есть основное уравнение пиродинамики.

Первый член его, как и в уравнении (38), представляет собой полный запас энергии в $\omega\psi$ *кг* пороховых газов, второй член — запас еще не использованной энергии газов, находящихся под давлением p и занимающих объем $W_\psi + sl$; в правой части — сумма внешних работ, совершенных газами к данному моменту.

Обычно величину θ переносят в правую часть, тогда уравнение (43) решается относительно второго члена:

$$p(W_\psi + sl) = f\omega\psi - \frac{\theta}{2}\varphi m v^2. \tag{44}$$

Заменив W_ψ через sl_ψ, будем иметь:

$$sp(l_\psi + l) = f\omega\psi - \frac{\theta}{2}\varphi m v^2. \tag{45}$$

Это уравнение известно под названием уравнения Резаля (Résal); оно также носит название основного уравнения пиродинамики. Уравнение связывает следующие переменные величины, характеризующие элементы горения пороха и движения снаряда: сгоревшую часть заряда ψ, давление газов p, длину пути l, скорость снаряда v и приведенную длину l_ψ свободного объема каморы в данный момент. Независимой переменной является величина ψ, так как только в результате горения пороха и образования газов возникает давление, приводящее в движение систему снаряд — заряд — ствол. Тем не менее все переменные связаны между собой и влияют друг на друга, и для нахождения связи между ними необходимо иметь добавочные уравнения.

Этими добавочными уравнениями служат зависимости для закона горения и уравнение движения снаряда.

Уравнение (40) справедливо и для второго периода, когда весь заряд сгорел и происходит адиабатическое расширение газов. В этом случае $\psi = 1$, и уравнение связывает только две переменные величины: T и v.

$$\frac{\varphi m v^2}{2} = \frac{f\omega}{\theta} - \frac{RT\omega}{\theta}. \tag{46}$$

Преобразовывая второй член правой части, получим:

$$\frac{\varphi m v^2}{2} = \frac{f\omega}{\theta} - \frac{RT_1\omega T}{\theta T_1} = \frac{f\omega}{\theta}\left(1 - \frac{T}{T_1}\right). \tag{47}$$

Уравнение (47) показывает, что с убыванием температуры T работа, совершаемая газами, растет и наибольшей величины достигает при $T = 0$.

Скорость снаряда, соответствующая моменту использования всего запаса энергии пороховых газов, называется предельной скоростью снаряда.

Уравнение (47) в этом случае напишется так:

$$\frac{\varphi m V_{\text{пр}}^2}{2} = \frac{f\omega}{\theta}. \tag{48}$$

Величина $\frac{f\omega}{\theta}$ представляет собой полный запас энергии, заключенный в ω *кг* пороховых газов.

3. Коэфициент полезного действия заряда и коэфициент использования заряда

Коэфициентом полезного действия (к. п. д.) заряда называется отношение полезной работы пороховых газов (кинетической энергии снаряда в момент прохождения его через дульный срез $\frac{mv_д^2}{2}$) к полному запасу энергии в данном заряде пороха.

Обозначая к. п. д. через $r_д$, можем написать:

$$r_д = \frac{\frac{mv_д^2}{2}}{\frac{f\omega}{\theta}} = \frac{\theta m v_д^2}{2f\omega}. \tag{49}$$

Для обычных орудий $r_д$ колеблется в пределах от 0,25 до 0,33.

В качестве характеристики пороха и ствола применяется еще коэффициент использования единицы веса заряда η_ω, равный отношению дульной энергии снаряда к весу заряда:

$$\eta_\omega = \frac{mv_д^2}{2\omega}. \qquad (50)$$

Эта величина характеризует эффективность использования заряда в орудии.

Для орудий среднего калибра $\eta_\omega = 120—140$ *тм/кг*, для орудий мелкого калибра $\eta_\omega = 100—110$ *тм/кг*.

Величиной η_ω пользуются для ориентировочного расчета веса заряда ω, обеспечивающего снаряду данного веса q определенную дульную скорость $v_д$.

4. Сила нормального давления на боевую грань нареза

Для сообщения снаряду вращательного движения на поверхности канала ствола делаются нарезы, причем угол α наклона нарезов к образующей может быть или постоянным (нарезка постоянной крутизны), или изменяться, возрастая от начала нарезов по направлению к дулу (нарезка прогрессивной крутизны). Вращение снаряда происходит в результате давления боевых граней нарезов, которыми при правой нарезке (вращение по часовой стрелке), если смотреть от казны к дулу по нижней производящей канала, являются правые грани нарезов.

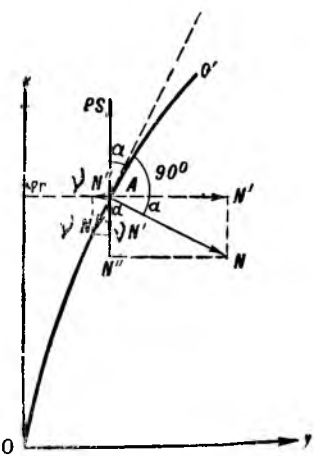


Рис. 36. Схема сил, действующих на боевую грань нареза

На этих гранях под действием пояска снаряда развивается сила сопротивления N, приложенная в центре выступа пояска и заставляющая снаряд поворачиваться по часовой стрелке.

Если развернуть канал ствола на плоскость XY (рис. 36, разрез по нижней производящей), причем ось x совпадает с направлением движения снаряда, то нарезка, развернутая на плоскость (для общности вывода возьмем прогрессивную нарезку), изобразится кривой OO'. Точка A соответствует центру боевой грани выступа пояска, к которой приложена о нормальная к кривой нареза сила давления на боевую грань N. Эта сила вызывает появление силы трения νN, приложенной к плоскости боевой грани и направленной в сторону, обратную движению снаряда.

Радиальной силой реакции пояска Φ и силой трения $\nu\Phi$ пренебрегаем.

Под действием сил sp, N и νN снаряду сообщается: 1) поступательное движение вдоль оси x; 2) вращательное движение вокруг оси снаряда.

Уравнение поступательного движения снаряда будет:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = X,$$

где X — сумма проекций сил по оси x.

Уравнение вращательного движения снаряда будет:

$$J\frac{d^2\varphi}{dt^2} = J\frac{d\omega}{dt} = M,$$

где φ — угол поворота;
ω — угловая скорость;
J — полярный момент инерции снаряда;
M — момент внешних сил, вращающих снаряд.

Разложим силы N и νN на составляющие по осям x и y:

$$N' = N\cos\alpha; \quad N'' = N\sin\alpha;$$

$$\nu N' = \nu N\cos\alpha; \quad \nu N'' = \nu N\sin\alpha.$$

Напишем уравнения движения:

$$sp - n(N\sin\alpha + \nu N\cos\alpha) = m\frac{d^2x}{dt^2} = m\frac{dv}{dt}; \tag{51}$$

$$nr(N\cos\alpha - \nu N\sin\alpha) = J\frac{d^2\varphi}{dt^2}, \tag{52}$$

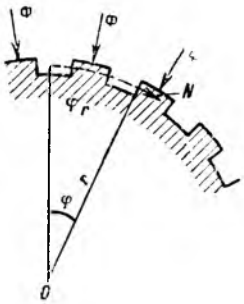


Рис. 37. Перемещение точки на боевой грани выступа пояска по окружности при повороте снаряда на угол φ

где n — число нарезов;
r — расстояние от оси снаряда до точки приложения сил на боевой грани.

Как показывает подробное исследование, в уравнении (51) вторым членом левой части можно пренебречь по сравнению с величиной силы sp. Тогда уравнение (51) можно представить так:

$$sp = m\frac{dv}{dt}. \tag{51a}$$

Вынося в уравнении (52) силу N за скобку и полагая разность $\cos\alpha - \nu\sin\alpha \approx 1$, это уравнение напишем так:

$$nrN = J\frac{d^2\varphi}{dt^2}. \tag{52a}$$

Найдем выражение для $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$.

Из рис. 37 видно, что снаряд, продвинувшись на путь x, повернется на угол φ; дуга $\varphi r = y$; $\varphi = \frac{y}{r}$. Диференцируем два раза по t, чтобы найти угловое ускорение $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$.

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{r}\cdot\frac{dy}{dx}\cdot\frac{dx}{dt} = \frac{1}{r}\operatorname{tg}\alpha\cdot v,$$

так как $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\alpha$.

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{1}{r}\left[\operatorname{tg}\alpha\frac{dv}{dt} + v\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx}\frac{dx}{dt}\right] = \frac{1}{r}\left[\operatorname{tg}\alpha\frac{dv}{dt} + v^2\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx}\right]. \tag{53}$$

Подставляя найденное выражение для $\frac{d^2\varphi}{dt^2}$ в уравнение (52а) и имея в виду, что $J = m\rho^2$, где ρ — радиус инерции, получаем:

$$m\rho^2\frac{d^2\varphi}{dt^2} = m\rho^2\frac{1}{r}\left[\operatorname{tg}\alpha\frac{dv}{dt} + v^2\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx}\right] = nrN;$$

$$\left(\frac{\rho}{r}\right)^2\left[\operatorname{tg}\alpha\, m\frac{dv}{dt} + mv^2\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx}\right] = nN. \tag{54}$$

Подставляя в скобках вместо $m\frac{dv}{dt}$ его выражение из (51а) и обозначая $\left(\frac{\rho}{r}\right)^2 = \lambda$, получаем окончательное выражение для силы N давления на боевую грань:

$$N = \frac{\lambda}{n}\left(\operatorname{tg}\alpha\cdot sp + \frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx}mv^2\right). \tag{55}$$

Нарезка прогрессивной крутизны при развертывании (рис. 38) цилиндра канала на плоскость обычно имеет вид параболы второго порядка, начало координат и угол наклона $\alpha = 0$ которой находятся за началом нарезов, на продолжении нарезной части.

Уравнение этой параболы

$$x^2 = k\,y, \text{ или } y = \frac{x^2}{k}. \qquad (56)$$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{2x}{k}; \quad \frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx} = \frac{2}{k} = \text{const}, \qquad (57)$$

т. е. изменение угла наклона в зависимости от расстояния x остается постоянным.

Так как углы наклона в начале нарезной части канала (α_1) и в конце (α_2) известны, то можем определить константу k.

В самом деле

$$\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{2c}{k},$$

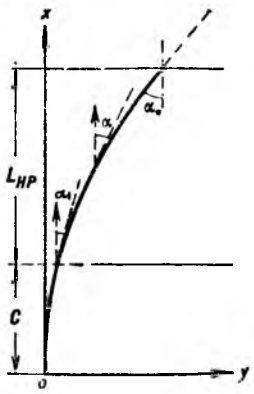


Рис. 38. Развертка нареза прогрессивной крутизны (параболического)

где c — расстояние от начала координат до начала нарезов;

$$\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{2(c + L_{нр})}{k},$$

откуда

$$k = \frac{2L_{нр}}{\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1};$$

следовательно,

$$\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx} = \frac{\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1}{L_{нр}} = k_\alpha = \text{const},$$

где $L_{нр}$ — длина нарезной части канала ствола.

Выражение для давления на боевую грань напишется так:

$$N = \frac{\lambda}{n}\left(\operatorname{tg}\alpha \cdot sp + k_\alpha m v^2\right), \qquad (58)$$

а для нарезки постоянной крутизны, так как $\frac{d\operatorname{tg}\alpha}{dx} = 0$,

$$N = \frac{\lambda}{n}\operatorname{tg}\alpha \cdot sp. \qquad (59)$$

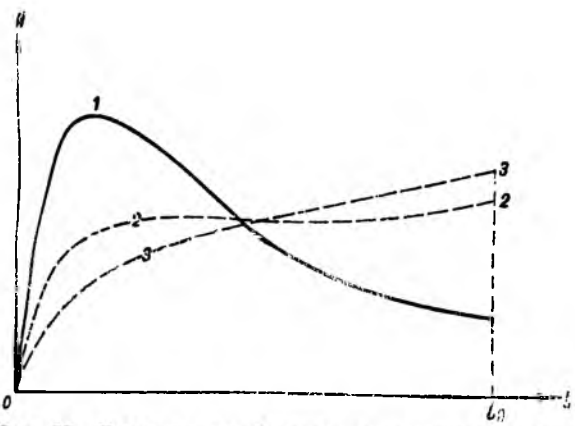


Рис. 39. Давление на боевую грань при нарезке постоянной и прогрессивной крутизны:

1 — нарезка постоянной крутизны; *2, 3* — нарезка прогрессивной крутизны

Величина $\lambda = \left(\frac{p}{r}\right)^2$ зависит от типа снаряда и изменяется в пределах от 0,48 для пули до 0,68 для тонкостенного снаряда.

Формула (59) показывает, что при нарезке постоянной крутизны давление выступа пояска снаряда на боевую грань нареза, как и реакция боевой грани нареза, пропорционально давлению газов на дно снаряда. Следовательно, кривая изменения силы N в функции от l подобна кривой давления, и наибольшее напряжение выступ пояска

снаряда и боевая грань испытывают в момент развития наибольшего давления на дно снаряда.

Из формулы (58) вытекает, что, уменьшая начальный угол наклона нарезов α, можно значительно уменьшить первое слагаемое в скобках для момента развития p_m. Так как скорость снаряда в этот момент еще невелика, то для момента развития наибольшего давления, как это видно из формулы (58) (при прогрессивной нарезке), сила N может получиться меньше, чем по формуле (59) (при нарезке постоянной крутизны).

При последующем убывании давления растет $\operatorname{tg}\alpha$ и растет второе слагаемое $k_2 m v^2$; поэтому при прогрессивной нарезке давление на боевую грань изменяется более равномерно, чем при нарезке постоянной крутизны.

На рис. 39 приведены кривые изменения силы N в функции от пути снаряда для нарезки постоянной (*1*) и прогрессивной (*2, 3*) крутизны.

5. Понятие об износе стволов. Причины износа

В процессе выстрела, продолжительность которого измеряется тысячными долями секунды, пороховые газы высокой плотности и температуры действуют на стенки канала. Кроме того, при движении по каналу ствола снаряд воздействует своими ведущими частями на упорный конус и нарезную часть канала.

Это кратковременное, но чрезвычайно мощное воздействие пороховых газов и снаряда на стенки ствола приводит к изменению основных размеров канала: объема зарядной каморы W_0, длины пути снаряда по каналу $l_д$ и поперечного сечения канала s.

Изменение внутренних размеров канала связано с изменением его баллистических данных, в частности той дульной скорости, которая характеризует данный ствол. Степень изменения внутренних размеров канала характеризуется падением дульной скорости и увеличением рассеивания скоростей, а следовательно, уменьшением дальности и кучности боя.

В явлениях, развивающихся в канале огнестрельного орудия по мере его службы, различают:

1) образование сетки трещин вследствие частых расширений и сжатий термического и механического происхождения;

2) механическое истирание поверхности канала, являющееся результатом трения ведущих частей снаряда о поверхность канала;

3) разгар (эрозия), под которым понимают изменения в состоянии поверхности канала, вызываемые термическим воздействием пороховых газов на стенки канала.

Кроме того, следует отметить образование в определенных сечениях канала кольцевых наслоений меди и стали, образующихся при оседании уносимых струями газа частиц металла, и выколы полей нарезов.

Таблица 25

Число выстрелов из орудий до падения дульной скорости на 5%

Наименование орудий	Средняя живучесть
76-*мм* пушка обр. 1902 г.	6 000
107-*мм* „ „ 1910 г.	3 000—3 500
122-*мм* гаубица „ 1909 г.	3 000
100-*мм* морская пушка в 60 калибров	600
120-*мм* „ „ „ 50 „	450
130-*мм* „ „ „ 55 „	600
152-*мм* „ „ „ 45 „	550
203-*мм* „ „ „ 50 „	300
305-*мм* „ „ „ 52 „	200

Указанные явления при прочих равных условиях проявляются более резко в орудиях большего калибра. Практика службы и опыт полигонов дают следующие данные о живучести орудийных стволов (до падения $v_д$ на 5%), измеряемой числом выстрелов (данные относятся к периоду первой империалистической войны) (таблица 25).

Основными причинами постепенного разрушения поверхности канала ствола являются раскаленные пороховые газы, а также и действие медного пояска. При непосредственном воздействии пороховых газов факторами, действующими активно, являются: 1) давление; 2) температура; 3) скорость газов и 4) химическая природа газов.

Влияние пояска зависит от его материала и размеров.

Пассивными факторами являются материал орудийного ствола и состояние канала.

Давление пороховых газов и их плотность настолько значительны, что газы можно уподобить раскаленной жидкости, омывающей поверхность канала. Кроме того, давление пороховых газов определяет значение силы N давления на боевую грань, величину сопротивления нарезов и работу трения, а стало быть, и степень износа.

Высокая температура пороховых газов, превосходящая температуру плавления меди и стали, является крупным фактором, влияющим на разгар и износ канала. Высокая температура ускоряет процесс разогревания стали в глубину и понижает ее механическую сопротивляемость. Она же способствует размягчению и даже оплавлению металла, в связи с чем в поверхностном слое возникают значительные деформации, приводящие к его разрушению.

Под действием ведущего пояска и частиц газов поверхность канала как бы покрывается тонкой коркой (явления наклепа), которая по своим свойствам резко отличается от остальной части металла ствола. Этот поверхностный слой имеет повышенную твердость, приобретает хрупкость, и в нем под действием частых расширений и сжатий термического и механического происхождения образуются мелкие трещины.

Нагрев газами мелких частиц металла происходит тем быстрее, чем мельче их размеры. Мелкие частицы стали и меди, отделяющиеся при врезании пояска и последующем его продвижении по нарезам, расплавляются и увлекаются газами. Эти частицы затем оседают в определенных сечениях на поверхности канала и образуют кольцевые наслоения меди и стали.

Предполагают, что работа трения газов значительна по своей величине. Эта работа расходуется на нагрев поверхности канала и на ее механическое истирание. Износ будет при этом тем больше, чем больше нагрета поверхность, чем больше скорость газов и их плотность и чем хуже отполирована поверхность канала.

Можно предполагать, что в зависимости от химической природы продуктов горения происходит или обогащение стали углеродом, или же, наоборот, выгорание углерода и понижение его содержания в поверхностных слоях канала. Одновременно под действием резкого нагрева и охлаждения (вследствие теплоотдачи через стенки и врывающимся в канал воздухом при открывании затвора) происходит резкая закалка тех же слоев, которая наряду с возможной их цементацией способствует образованию трещин.

К разряду физико-химических процессов, развивающихся в стали под влиянием горячих и плотных газов, относится и явление окклюзии. Последнее заключается в проникании газов под большим давлением внутрь металла, в последующем его разрыхлении при расширении газов и обратном их выходе после падения давления в канале.

Что касается материала ведущих частей и их размеров, то практикой установлено, что чем тверже материал пояска, тем быстрее происходит износ канала. Наиболее подходящим материалом для ведущего пояска считается медь, которая несмотря на сравнительную легкоплавкость и

истираемость выгодно сочетает в себе важные свойства пластичности и достаточной прочности.

Размеры пояска также влияют на износ орудия, но различным образом. Так, увеличение ширины пояска уменьшает удельное давление на боевой грани и обеспечивает более плотное прилегание к ней выступа пояска. Увеличение диаметра пояска при сохранении всех прочих условий усиливает сопротивление врезанию в нарезы, требуя большей работы на том же участке соединительного конуса.

Материал орудийного ствола, его обработка, устройство нарезов, их очертание и размеры также оказывают влияние на степень износа.

Из всего вышеизложенного вытекает, что явления износа и разгара стенок стволов хотя и неизбежны, но степень и быстрота их развития могут быть ослаблены рядом мероприятий при проектировании ствола и условий заряжания (p_m, T_1, нарезка, материал ствола). Эти мероприятия должны обеспечить уменьшение вредного действия пороховых газов и ведущих частей снаряда на внутреннюю поверхность канала ствола. Явления износа стволов могут быть снижены также технологическими и чисто служебными мерами.

К технологическим мерам относится тщательная отделка и полировка поверхности канала ствола, а к служебным — досылка снаряда при заряжании до плотного упора пояска в опорный конус, содержание в чистоте как канала, так и поверхности снаряда, смазка канала, охлаждение ствола и режим огня.

ГЛАВА V

ОСНОВНАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ ВНУТРЕННЕЙ БАЛИСТИКИ И ПОНЯТИЕ О ЕЕ РЕШЕНИИ

1. Основные допущения

При выводе основных зависимостей, выражающих связь между физико-химическими и механическими явлениями при выстреле, принимают ряд допущений. Основные из них следующие:

1. Воспламенение заряда происходит мгновенно по всей поверхности пороховых зерен.

2. Горение пороха идет параллельными слоями, с одинаковой скоростью со всех сторон.

3. Все зерна порохового заряда одинаковы по своим размерам, и пороховая масса одинакова по своему составу.

4. Движение снаряда начинается, когда в каморе за счет сгоревшей части заряда разовьется давление форсирования p_0, достаточное для врезания пояска в нарезы на полную глубину.

Процесс сгорания пороха до момента достижения давления форсирования p_0 (горение происходит в неизменяемом объеме) учитывают по общей формуле пиростатики, пользуясь которой, находят величину ψ_0, соответствующую давлению p_0. Зная ψ_0, находят σ_0 и z_0. Эти три величины (ψ_0, σ_0 и z_0) входят как параметры в решение основной системы уравнений внутренней балистики для первого периода.

2. Решение для первого периода

Основное уравнение пиродинамики

$$sp(l_\psi + l) = f\omega\psi - \frac{\theta\varphi m v^2}{2}$$

содержит четыре переменные величины: p, l, ψ и v.

Для установления связи между ними и для решения основного уравнения имеем следующие дополнительные зависимости:

1. Закон скорости горения $\frac{de}{dt} = u = u_1 p$.

2. Закон движения снаряда $sp = \varphi m \frac{dv}{dt} = \varphi m v \frac{dv}{dl}$.

3. Закон сгорания пороха с изменением его толщины, который при геометрическом законе горения выражается зависимостью

$$\psi = \varkappa z + \varkappa\lambda z^2.$$

а) Наиболее просто устанавливается зависимость скорости снаряда от z.

Из уравнения движения имеем:

$$\varphi m dv = sp dt,$$

откуда

$$v = \frac{s}{\varphi m} \int_{(\psi_0)}^{(\psi)} p dt = \frac{s}{\varphi m} (I - I_0),$$

где $I = \int_0^{(\psi)} p dt$, а $I_0 = \int_0^{(\psi_0)} p dt$ — импульс давления, соответствующий началу движения снаряда, когда сгорит относительная часть заряда ψ_0.

На основании закона скорости горения можем написать:

$$I = \frac{e}{u_1} = \frac{e_1}{u_1} \cdot \frac{e}{e_1} = \frac{e_1}{u_1} z = I_к z; \quad I_0 = I_к z_0,$$

где $I_к$ — полный импульс давления, соответствующий полному сгоранию пороха.

Подставляя эти значения в выражение для скорости, получим:

$$v = \frac{sI_к}{\varphi m} \left(\frac{I}{I_к} - \frac{I_0}{I_к} \right) = \frac{sI_к}{\varphi m} (z - z_0).$$

Если обозначить через x разность

$$z - z_0 = x,$$

то

$$v = \frac{sI_к}{\varphi m} x. \tag{60}$$

Величина x представляет собой относительную сгоревшую толщину пороха, отсчитываемую от начала движения снаряда. За время первого периода x изменяется от 0 до $x_к = 1 - z_0$.

Формула (60) показывает, что скорость снаряда в данном орудии растет пропорционально x, а при данном x растет с увеличением $I_к$ и убывает с увеличением фиктивной массы снаряда.

б) Для определения пути снаряда l используются два уравнения: основное уравнение (45) и уравнение движения.

Первое уравнение напишется так:

$$sp(l_\psi + l) = f\omega \left(\psi - \frac{\theta \varphi m}{2f\omega} v^2 \right) = f\omega \left(\psi - \frac{v^2}{V_{пр}^2} \right),$$

так как по уравнению (48) предельная скорость снаряда при заданных условиях заряжания

$$V_{пр} = \sqrt{\frac{2f\omega}{\varphi \theta m}}.$$

Второе уравнение имеет вид:

$$sp\,dl = \varphi m\,v dv.$$

Исключая p делением второго уравнения на первое, получаем:

$$\frac{dl}{l_\psi + l} = \frac{\varphi m}{f\omega} \cdot \frac{v dv}{\psi - \frac{v^2}{V_{\text{пр}}^2}}. \tag{61}$$

Так как v и ψ являются функциями z или x, то уравнение (61) дает в диференциальной форме зависимость между путем l и независимой переменной, за которую можно принять ψ, v, z или x.

Решая его относительно производной $\frac{dl}{dv}$, приведем уравнение к виду линейного диференциального уравнения первого порядка со свободным членом:

$$\frac{dl}{dv} - \frac{\varphi m}{f\omega} \cdot \frac{v}{\psi - \frac{v^2}{V_{\text{пр}}^2}}\, l = \frac{\varphi m}{f\omega} \cdot \frac{v}{\psi - \frac{v^2}{V_{\text{пр}}^2}}\, l_\psi.$$

Имея в виду, что v, ψ и l_ψ могут быть выражены в функции от $x = z - z_0$, последнее диференциальное уравнение можно представить в таком виде:

$$\frac{dl}{dx} + \frac{B}{B_1} \cdot \frac{x}{\xi_1(x)}\, l = -\frac{B}{B_1} \cdot \frac{l_\psi x}{\xi_1(x)},$$

где

$$B = \frac{s^2 I_{\text{к}}^2}{f\omega\varphi m};$$

$$B_1 = \frac{B\theta}{2} - \varkappa\lambda;$$

$$\xi_1(x) = x^2 - \frac{k_1}{B_1} x - \frac{\psi_0}{B_1},$$

где

$$k_1 = \varkappa z_0.$$

Общий интеграл этого диференциального уравнения будет:

$$l = e^{-\frac{B}{B_1}\int \frac{x dx}{\xi_1(x)}} \left[-\frac{B}{B_1} \int \frac{l_\psi x}{\xi_1(x)}\, e^{\frac{B}{B_1}\int \frac{x dx}{\xi_1(x)}}\, dx + C \right], \tag{62}$$

где C — постоянная интегрирования.

Интеграл в скобках выражения (62) не берется в конечном виде, и его приходится вычислять при помощи квадратур.

Проф. Н. Ф. Дроздов в 1903 г. дал точное решение уравнения (61) при геометрическом законе горения, приняв за независимую переменную $x = z - z_0$, причем для вычисления интеграла

$$-\frac{B}{B_1} \int \frac{l_\psi x}{\xi_1(x)}\, e^{\frac{B}{B_1}\int \frac{x dx}{\xi_1(x)}}\, dx$$

им были составлены таблицы значений этого интеграла для некоторых постоянных значений констант.

В настоящее время имеются таблицы, позволяющие вычислить интеграл при любом значении констант для порохов дегрессивной формы и трубчатых.

Интеграл $\int \frac{x dx}{\xi_1(x)}$ берется в конечном виде, но для облегчения вычислений его значений, а точнее, для значений величины $e^{-\frac{B}{B_1}\int \frac{x dx}{\xi_1(x)}}$, составлены также таблицы.

Ввиду сложности такого хода вычисления пути снаряда l, для получения решения в конечном виде диференциальное уравнение (61) можно упростить, приняв величину l_ψ постоянной средним значением.

Обозначив среднее значение l_ψ через l_c, диференциальное уравнение (61) можно написать так:

$$\frac{dl}{l_c + l} = \frac{\varphi m}{f\omega} \cdot \frac{v dv}{\psi - \frac{v^2}{V_{\text{пр}}^2}},$$

или, выражая v и ψ в функции от x:

$$\frac{dl}{l_c + l} = -\frac{B}{B_1} \cdot \frac{x dx}{\xi_1(x)}.$$

В этом уравнении переменные отделены, и после интегрирования получаем:

$$\ln\left(1 + \frac{l}{l_c}\right) = -\frac{B}{B_1} \int_0^x \frac{x dx}{\xi_1(x)},$$

или

$$1 + \frac{l}{l_c} = e^{-\frac{B}{B_1} \int_0^x \frac{x dx}{\xi_1(x)}}.$$

Отсюда получаем формулу для пути в функции от x:

$$l = l_c\left(e^{-\frac{B}{B_1} \int_0^x \frac{x dx}{\xi_1(x)}} - 1\right). \qquad (62а)$$

Формула (62а) значительно проще, чем формула (62), и дает достаточную точность при расчете p_m и $v_д$, если при изменении x каждый раз брать свое значение величины l_c, полагая в формуле для l_ψ величину $\psi_{\text{ср}} = \frac{\psi + \psi_0}{2}$.

Величина интеграла $e^{-\frac{B}{B_1} \int_0^x \frac{x dx}{\xi_1(x)}}$ берется из таблиц.

Установив, таким образом, зависимость между путем снаряда l и переменной x, пользуясь выражениями для скорости v и ψ в функции от x и основным уравнением пиродинамики, можно получить зависимости $p = f(l)$ и $v = f(l)$ для первого периода.

3. Решение для второго периода

Второй период, начинающийся с момента конца горения заряда и заканчивающийся в момент прохождения дна снаряда через дульный срез, представляет, при известных допущениях, процесс адиабатического расширения газов.

Во втором периоде за независимую переменную принимают путь снаряда l.

Начало второго периода характеризуется следующими данными, полученными для конца первого периода:

$$\psi = 1;\ v = v_к;\ l = l_к;\ p = p_к;\ l_\psi = l_1;$$

свободный объем заснарядного пространства в начале второго периода равен

$$W_к = W_0 - \alpha\omega + s l_к = s(l_1 + l_к).$$

Основное уравнение пиродинамики для второго периода имеет вид:

$$sp(l_1 + l) = f\omega - \frac{\theta\varphi m v^2}{2} = f\omega\left(1 - \frac{v^2}{V_{\text{пр}}^2}\right).$$

а) Зависимость для давления получается из уравнения адиабаты:

$$pW^{1+\theta} = p_{\text{к}} W_{\text{к}}^{1+\theta}, \tag{63}$$

где $p_{\text{к}}$ и p — давления газов в начале второго периода и в данный момент;
$W_{\text{к}}$ и W — свободные объемы заснарядного пространства в те же моменты.

Из уравнения (63) имеем:

$$p = p_{\text{к}}\left(\frac{W_{\text{к}}}{W}\right)^{1+\theta}.$$

Раскрывая значения $W_{\text{к}}$ и W, будем иметь:

$$W_{\text{к}} = s(l_1 + l_{\text{к}});$$

$$W = W_0 - \alpha\omega + sl = s(l_1 + l).$$

Подставляя эти выражения в формулу для p, находим:

$$p = p_{\text{к}}\left(\frac{l_1 + l_{\text{к}}}{l_1 + l}\right)^{1+\theta}. \tag{64}$$

В частности, для дульного среза будем иметь:

$$p_{\text{д}} = p_{\text{к}}\left(\frac{l_1 + l_{\text{к}}}{l_1 + l_{\text{д}}}\right)^{1+\theta}.$$

б) Для определения зависимости v от l воспользуемся основным уравнением пиродинамики для второго периода в таком виде:

$$sp(l_1 + l) = f\omega\left(1 - \frac{v^2}{V_{\text{пр}}^2}\right).$$

Решая это уравнение относительно p, получим:

$$p = \frac{f\omega}{s} \cdot \frac{1 - \frac{v^2}{V_{\text{пр}}^2}}{l_1 + l}. \tag{65}$$

Для начала второго периода можем написать:

$$p_{\text{к}} = \frac{f\omega}{s} \cdot \frac{1 - \frac{v_{\text{к}}^2}{V_{\text{пр}}^2}}{l_1 + l_{\text{к}}}. \tag{66}$$

Поделив почленно уравнение (65) на (66), получим:

$$\frac{p}{p_{\text{к}}} = \frac{1 - \frac{v^2}{V_{\text{пр}}^2}}{1 - \frac{v_{\text{к}}^2}{V_{\text{пр}}^2}} \cdot \frac{l_1 + l_{\text{к}}}{l_1 + l}. \tag{67}$$

Из уравнения (64) имеем:

$$\frac{p}{p_к} = \left(\frac{l_1 + l_к}{l_1 + l}\right)^{1+\theta}. \tag{68}$$

Приравняв правые части уравнений (67) и (68), получаем:

$$\frac{1 - \frac{v^2}{V_{пр}^2}}{1 - \frac{v_к^2}{V_{пр}^2}} \cdot \frac{l_1 + l_к}{l_1 + l} = \left(\frac{l_1 + l_к}{l_1 + l}\right)^{1+\theta},$$

или

$$1 - \frac{v^2}{V_{пр}^2} = \left(1 - \frac{v_к^2}{V_{пр}^2}\right)\left(\frac{l_1 + l_к}{l_1 + l}\right)^{\theta},$$

откуда

$$v^2 = V_{пр}^2\left[1 - \left(1 - \frac{v_к^2}{V_{пр}^2}\right)\left(\frac{l_1 + l_к}{l_1 + l}\right)^{\theta}\right]$$

и окончательно

$$v = V_{пр}\sqrt{1 - \left(1 - \frac{v_к^2}{V_{пр}^2}\right)\left(\frac{l_1 + l_к}{l_1 + l}\right)^{\theta}}. \tag{69}$$

ГЛАВА VI

ТАБЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВНУТРЕННЕЙ БАЛИСТИКИ

1. Таблицы проф Н. Ф. Дроздова и таблицы АНИИ

При решении основной задачи внутренней балистики аналитическим способом необходимо проделать большое число вычислений со значительной затратой времени. При этом аналитические формулы не дают возможности решения обратных задач, связанных с проектированием ствола и с подбором заряда для существующей системы. Для решения таких задач приходится вычислять большое число вариантов прямой задачи и уже из них выбирать интерполированием вариант, подходящий для данного случая. Все это чрезвычайно усложняет решение вопросов балистического проектирования стволов и подбора пороха на основе теоретических формул.

Поэтому практические задачи удобнее решать по таблицам, составленным на основе аналитического решения основной задачи внутренней балистики.

Такие таблицы учитывают в пределах точности основных допущений все явления, имеющие место при выстреле.

В 1910 г. проф. Н. Ф. Дроздов на основе разработанного им аналитического метода решения основной задачи внутренней балистики составил первые таблицы для быстрого определения наибольшего давления p_m и начальной скорости v_0. Входными величинами служили плотность заряжания Δ и параметр условий заряжания $B = \frac{s^2 l_к^2}{f\omega\varphi m} = \frac{s^2 e_1^2}{u_1^2 f\omega\varphi m}$. При этом из таблиц попутно определялось положение конца горения пороха $\left(\frac{l_к}{l_0}\right)$.

Пользование такими таблицами значительно упростило решение прямой задачи пиродинамики и позволило очень быстро и просто решать ряд обратных задач, относящихся к области балистического проектирования ствола, как то: определение длины пути снаряда, обеспечивающей

получение требуемой начальной (дульной) скорости снаряда при данной плотности заряжания, определение толщины пороха, обеспечивающей получение заданного наибольшего давления, определение наивыгоднейших условий заряжания и т. д. Для удобства пользования они были усовершенствованы и расширены самим автором в 1933 г.

Дальнейшим развитием и продолжением таблиц проф. Н. Ф. Дроздова являются изданные в 1933 г. таблицы АНИИ, позволяющие определять не только p_m, $v_д$, $l_к$ и l_m, но и целиком все кривые давления газов, скорости снаряда и времени движения в функции от пути снаряда. Эти таблицы позволили еще более ускорить решение ряда задач, связанных с областью балистического проектирования.

Таблицы АНИИ, так же как и таблицы проф. Н. Ф. Дроздова, составлены для порохов ленточной формы со значением характеристик формы $\varkappa = 1{,}06$ и $\varkappa\lambda = -0{,}06$. Кроме того, при составлении таблиц приняты постоянными следующие характеристики:

1) сила пороха $f = 950\,000$ *кг.дм/кг*;
2) коволюм $\alpha = 0{,}98$ *дм³/кг*;
3) плотность пороха $\delta = 1{,}6$ *кг/дм³*;
4) коэфициент фиктивности массы $\varphi = 1{,}05$;
5) давление форсирования $p_0 = 300$ *кг/см²*;
6) показатель адиабаты $k = 1 + \theta = 1{,}2$, *или* $\theta = 0{,}2$;
7) ускорение силы тяжести $g = 9{,}81$ *м/сек²*;
8) $\alpha = \frac{1}{\delta} = \frac{1}{\delta_1} = 0{,}355 = \frac{1}{2{,}82}$.

Таблицы составлены для плотностей заряжания от 0,05 до 0,95; для каждой Δ через 0,01 отведена одна страница. Входными числами являются параметр B и относительная длина пути снаряда $\lambda = \frac{l}{l_0}$ по отношению к приведенной длине каморы l_0 (в таблицах, как и в таблицах проф. Дроздова, она обозначена через l_1).

Параметр B изменяется от 0,7 до 3, а при плотностях заряжания Δ, бо́льших 0,8, — от 1,2 до 4; λ изменяется от 0 до 15 через неравные интервалы, вначале малые (0,1), а потом более крупные (1,0).

Каждая страница разделена горизонтально на три одинаково устроенные таблицы в функции от B и λ: для давлений, скоростей и времен движения снаряда.

Скорости и времена даны в таблицах в условных единицах. Для получения действительной скорости снаряда надо табличные ее значения умножить на $\sqrt{\frac{\omega}{q}}$. Для получения действительного времени движения снаряда надо $t_{табл}$ умножить на $l_0\sqrt{\frac{q}{\omega}}\cdot 10^{-6}$, если l_0 выражена в дециметрах:

$$v = v_{табл}\sqrt{\frac{\omega}{q}};$$

$$t = t_{таб.л}\, l_0\sqrt{\frac{q}{\omega}}\cdot 10^{-6}.$$

В каждой из трех таблиц с правой стороны помещены точные значения величин, отвечающих наибольшему давлению и концу горения, т. е.

$$\lambda_m = \frac{l_m}{l_0};\ \lambda_к = \frac{l_к}{l_0};\ p_m;\ p_к;\ v_m;\ v_к;\ t_m;\ t_к.$$

В каждой таблице ломаной чертой (жирной) отмечены те интервалы между соседними значениями λ, между которыми находится конец горения пороха.

Слева и вниз от этой ломаной линии находятся значения p, v и t, отвечающие первому периоду выстрела, а справа и вверх — второму.

Тонкие вертикальные линии в пределах $\lambda = 0{,}1 \div 0{,}7$ показывают, что в этом интервале находится наибольшее давление.

На каждой странице внизу приведены значения ψ_0 и z_0, соответствующие моменту форсирования при данной Δ.

2. Применение таблиц и их анализ

Рассмотрение таблиц показывает, что с увеличением B, при данной плотности заряжания Δ, p_m убывает, а $\lambda_к = \frac{l_к}{l_0}$ возрастает. В величине $B = \frac{s^2 e_1^2}{u_1^3 f \omega \varphi m}$ в данном орудии могут изменяться главным образом толщина пороха $2e_1$, вес заряда ω и масса снаряда m; величины f, φ и s постоянны, u_1 изменяется мало.

Если плотность заряжания Δ остается в данном орудии постоянной, а B возрастает, то это, очевидно, происходит главным образом за счет увеличения толщины пороха $2e_1$. Таблицы показывают, что с увеличением толщины пороха $2e_1$ давление p_m убывает и конец горения переносится ближе к дулу. При большом увеличении B может получиться неполное сгорание пороха $\left(\lambda_к = \frac{l_к}{l_0} > \lambda_д = \frac{l_д}{l_0}\right)$. При $\lambda_к < \lambda_д$ происходит полное сгорание пороха.

Анализ таблиц также показывает, что в данном орудии можно получить одно и то же давление p_m при разных Δ, меняя одновременно и B.

При увеличении Δ за счет повышения заряда ω (а не за счет уменьшения объема каморы) должна уменьшаться величина B. Поэтому для сохранения давления p_m надо увеличивать толщину пороха $2e_1$, но так, чтобы ее изменение не только перекрывало влияние повышения веса заряда ω, но и увеличивало B. Так как толщина пороха увеличивается, а p_m остается одно и то же, то конец горения переносится все дальше к дулу $\left(\lambda_к = \frac{l_к}{l_0}\right.$ возрастает$\left.\right)$. С увеличением заряда до некоторого предела растет и начальная скорость снаряда. Дальнейшее увеличение заряда сверх этого предела не дает возрастания скорости, вследствие неполного сгорания пороха.

Если Δ увеличивается за счет убывания объема каморы (бо́льшая запоясковая часть снаряда), то для сохранения того же p_m надо изменить также B. Толщина пороха изменится меньше, чем в первом случае, так как при этом не надо перекрывать увеличение веса заряда ω.

При изменении только веса заряда ω, без изменения других условий заряжания, наибольшее давление p_m возрастает. При этом величина B будет изменяться обратно пропорционально весу заряда $(B_2 : B_1 = \omega_1 : \omega_2)$.

Давление p_m возрастает значительно быстрее увеличения заряда. Поэтому при подборе заряда при больших плотностях заряжания вес заряда следует увеличивать очень осторожно.

3. Определение толщины пороха, обеспечивающей заданное наибольшее давление

Если известны данные орудия W_0, s, $l_д$, вес заряда ω и снаряда q и задано p_m, то для определения толщины пороха вычисляют предварительно $\Delta = \frac{\omega}{W_0}$; по этой Δ входят в таблицы и находят в правом крайнем

столбце заданное давление, а по величине p_m в левом столбце в этой же строке находят величину B. Зная, что

$$B = \frac{s^2 e_1^2}{u_1^2} \cdot \frac{1}{f\omega\varphi m},$$

и задавшись предварительно величиной скорости горения u_1, определяют толщину $2e_1$ по формуле

$$2e_1 = \frac{2u_1}{s}\sqrt{Bf\omega\varphi m}\ (дм).$$

В этой же строке справа находят значение $\lambda_к = \frac{l_к}{l_0}$ и, сравнивая его с $\lambda_д = \frac{l_д}{l_0}$, определяют, полностью ли сгорает порох в канале ($\lambda_к < \lambda_д$).

Величину u_1 можно определить, пользуясь таблицей 23 (стр. 95), дающей приближенную зависимость u_1 от толщины пороха для пироксилиновых порохов.

Некоторым недостатком таблиц является то, что они составлены для ленточного пороха с определенными характеристиками: $\varkappa = 1{,}06$ и $\varkappa\lambda = -0{,}06$. Но практика показывает, что порох с семью каналами дает при стрельбе почти одинаковые результаты с ленточным порохом при соотношении толщин $2e_{1\text{с 7 канал}} = \frac{7}{10}2e_{1\text{лент}}$ или $2e_{1\text{лент}} = \frac{10}{7}2e_{1\text{с 7 канал}}$.

Следовательно, таблицами можно пользоваться и для расчета действия пороха с семью каналами, но надо толщину свода его умножить на $\frac{10}{7}$.

4. Нахождение кривых давления на дно снаряда и скорости его при заданных условиях заряжания

Приведем порядок решения этой задачи.

Пусть дано: d, W_0, s, $l_д$, q, ω, $2e_1$, u_1.

а) Рассчитываем постоянные:

1) плотность заряжания $\Delta = \frac{\omega}{W_0}$;

2) приведенную длину объема каморы $l_0 = \frac{W_0}{s}$ *дм*;

3) относительную длину пути снаряда $\lambda_д = \frac{l_д}{l_0}$;

4) полный импульс $I_к = \frac{e_1}{u_1}$ *кг·сек/дм²*;

5) параметр заряжания $B = \frac{s^2 I_к^2}{\omega\varphi m}$;

6) $\sqrt{\frac{\omega}{q}}$ и $l_0\sqrt{\frac{q}{\omega}}$.

б) Затем по входным данным $\lambda_д$ и B для данной плотности заряжания (из таблицы давлений) определяем $p_д$. По этой же строке входим в табличку, находящуюся с правой стороны таблицы давлений, и определяем λ_m, p_m и $\lambda_к$, $p_к$.

Иногда значения Δ и B не совпадают с табличными. Тогда необходимо произвести интерполирование. После этого, задаваясь значениями λ от 0 до $\lambda_д$, из таблицы давлений находят всю кривую $p = f(l)$.

в) Рассчитываем $v = f(l)$. Для этого поступаем так же. Для $\lambda_д$ и B_1 по таблице скоростей определяем $v_{д\ (табл)}$ и по этой же строке получаем $v_{m\ (табл)}$ и $v_{к\ (табл)}$. Для тех же значений λ находят по таблице скоро-

стей $v_{табл}$. Чтобы получить истинные значения скоростей, их табличные значения умножаем на коэфициент $\sqrt{\frac{\omega}{q}}$:

$$v = v_{табл}\sqrt{\frac{\omega}{q}}\ м/сек.$$

г) Совершенно аналогично поступаем для определения t, пользуясь таблицей времен. Чтобы получить истинное значение t, полученные табличные данные умножаем на коэфициент $l_0\sqrt{\frac{q}{\omega}}\cdot 10^{-6}$ (l_0 — в *дм*), и тогда

$$t = t_{табл}\, l_0\sqrt{\frac{q}{\omega}}\cdot 10^{-6}\ секунд.$$

После этого строим кривые $p = f(l)$, $v = f(l)$ и $t = f(l)$, имея в виду, что $l = l_0\lambda$.

5. Определение длины пути снаряда, обеспечивающей при заданных условиях заряжания требуемую дульную скорость снаряда

Даны: калибр орудия d, сечение канала, включая нарезы, s, объем каморы W_0, вес заряда ω, вес снаряда q и требуемая дульная скорость $v_д$. Дано также условие, чтобы p_m было не больше заданной величины.

Требуется найти $l_д$.

Находим сначала $\Delta = \frac{\omega}{W_0}$ (или задаемся Δ, если W_0 не дано, как это бывает при проектировании ствола) и величину $\sqrt{\frac{\omega}{q}}$.

По найденной (или выбранной) величине Δ входим в таблицы АНИИ и по заданной величине p_m по таблице давлений находим соответствующее значение параметра B.

Имея величину B и вычислив предварительно величину $v_{табл} = v_д : \sqrt{\frac{\omega}{q}}$, входим в таблицу скоростей, по величинам B и $v_{табл}$ находим то значение $\lambda = \lambda_д$, при котором может быть получена заданная начальная скорость.

Полную длину пути снаряда найдем из соотношения

$$l_д = l_0\lambda_д,$$

для чего предварительно следует определить значение l_0 по формуле

$$l_0 = \frac{W_0}{s},$$

если задана величина W_0, и

$$l_0 = \frac{\omega}{\Delta s},$$

если задана величина Δ.

6. Недостатки таблиц АНИИ

В таблицах АНИИ время прохождения снарядом первого участка от 0 до $\lambda = 0{,}1$ вычислено неверно. Эти значения почти вдвое меньше, чем значения, вычисленные по более точным формулам, предложенным проф. Е. Л. Бравиным. Эта ошибка искажает первый участок кривых давления, скорости и пути в функции от времени и смещает все кривые к началу координат на величину ошибки.

Табличное значение времени, соответствующее движению снаряда на участке пути от 0 до $\lambda = 0{,}1$, может быть вычислено по формуле проф. Бравина:

$$t'_{\text{табл}} = \frac{30\,000}{v'} \cdot \frac{300 + p'}{600 + p'},$$

где v' и p' — табличные скорость и давление, соответствующие $\lambda = 0{,}1$ при данном значении Δ и B.

Вычтя из t' величину табличного времени t'_A по таблицам АНИИ, находим постоянную поправку $\Delta t_{\text{табл}} = t'_{\text{табл}} - t'_A$ к табличным значениям времен. Эту поправку нужно прибавить к каждому значению табличного времени, соответствующего данному значению B при данной величине Δ.

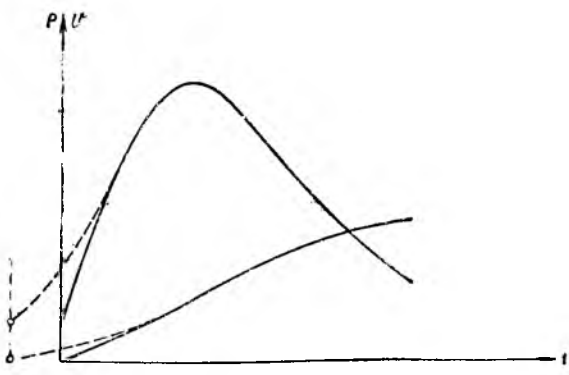


Рис. 40. Кривые давления и скорости в зависимости от времени (по таблицам АНИИ)

Поправку действительного времени движения снаряда найдем из зависимости

$$\Delta t = \Delta t_{\text{табл}}\, l_0 \sqrt{\frac{q}{\omega}} \cdot 10^{-6}.$$

На величину Δt должны быть смещены кривые p, t и v, t по сравнению с теми, которые получаются непосредственно по данным таблиц АНИИ. На рис. 40 пунктиром изображен ход начальных участков кривых в функции от времени при введении поправки по формуле проф. Бравина.

Кроме этой ошибки, допущенной при расчетах, в таблицах АНИИ плохо проведена интерполяция и имеется много опечаток. Поэтому при пользовании ими рекомендуется или строить кривые, позволяющие по выскокам точек сразу обнаружить погрешности и опечатки, или внимательно следить за последовательным характером изменения определяемой по таблицам величины (p; $v_{\text{табл}}$; $t_{\text{табл}}$).

Порядок учета коэфициента φ, отличного от принятого при составлении таблиц (1,05), рассмотрен в главе „Балистический расчет ствола".

В настоящее время таблицы АНИИ пересматриваются, и в них вносятся необходимые исправления.

ГЛАВА VII

ЭМПИРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ВНУТРЕННЕЙ БАЛИСТИКИ

1. Таблицы Гейденрейха

Теоретическое решение основной задачи пиродинамики основано на совместном решении системы диференциальных уравнений (выражающих закон горения пороха и соответствующие законы термодинамики) с основным уравнением движения снаряда. Такое решение базируется на теоретическом анализе явления выстрела. Но ввиду сложности происходящих процессов и большого числа независимых переменных, входящих в уравнения, это решение получается довольно сложным, несмотря на ряд допущений и упрощений, вводимых при этом.

Преимуществом теоретического решения является его общность, позволяющая применять его к самым разнообразным условиям заряжания.

В отличие от теоретического решения основной задачи пиродинамики, эмпирические методы исходят из подобранных на основании большого опытного материала зависимостей между давлением пороховых газов или скоростью снаряда и временем движения снаряда или путем, пройденным снарядом.

Таблицы Гейденрейха (1900 г.) составлены на основе обработки большого числа велосимметрических кривых, полученных при стрельбе из различных орудий при разнообразных условиях заряжания.

Исходной величиной в методе Гейденрейха является $\eta = \frac{p_{ср}}{p_m}$, где $p_{ср}$ определяется по формуле

$$p_{ср} = \frac{q\left(1 + \frac{1}{2}\frac{\omega}{q}\right)v_д^2}{2gsl_д},$$

в которой $\left(1 + \frac{1}{2}\cdot\frac{\omega}{q}\right)$ — коэфициент, учитывающий работу на перемещение заряда.

В зависимости от величины η в таблицах даются функции:

$$\Sigma(\eta) = \frac{l_m}{l_д};\ \Phi(\eta) = \frac{v_m}{v_д};\ \Theta(\eta) = \frac{t_m}{t_{ср}};\ \Pi(\eta) = \frac{p_д}{p_{ср}};\ T(\eta) = \frac{t_д}{t_{ср}}.$$

Имея численные значения этих функций для данного значения η, можно при заданных значениях $l_д$, $v_д$ и p_m найти величины l_m, v_m, t_m, $p_д$ и $t_д$. Среднее время движения снаряда по каналу $t_{ср}$ определяется по формуле

$$t_{ср} = \frac{2l_д}{v_д}.$$

Значение этих функций в зависимости от $\eta = \frac{p_{ср}}{p_m}$ дается в таблице 26.

Таблица 26

$\eta = \frac{p_{ср}}{p_m}$	$\Sigma(\eta) = \frac{l_m}{l_д}$	$\Pi(\eta) = \frac{p_д}{p_{ср}}$	$\Phi(\eta) = \frac{v_m}{v_д}$	$\Theta(\eta) = \frac{t_m}{t_{ср}}$	$T(\eta) = \frac{t_д}{t_{ср}}$
0	0	—	—	0	—
0,05	0,0046	—	—	0,033	—
0,10	0,0104	0,200	0,288	0,069	0,646
0,15	0,0177	0,240	0,306	0,108	0,695
0,20	0,0262	0,274	0,322	0,150	0,744
0,25	0,0360	0,306	0,337	0,196	0,792
0,30	0,0471	0,338	0,352	0,246	0,842
0,35	0,0597	0,368	0,367	0,300	0,893
0,40	0,0740	0,400	0,383	0,358	0,946
0,45	0,0903	0,432	0,399	0,420	1,000
0,50	0,109	0,465	0,416	0,487	1,056
0,55	0,132	0,501	0,435	0,560	1,116
0,60	0,160	0,541	0,457	0,642	1,180
0,65	0,192	0,585	0,482	0,734	1,249
0,70	0,231	0,635	0,511	0,835	1,322
0,75	0,283	0,697	0,546	0,958	1,406
0,80	0,360	0,779	0,592	1,115	1,507
0,825	0,422	0,838	0,636	1,225	1,575
0,85	0,605	1,000	0,747	1,485	1,715
0,825	0,855	1,181	0,908	1,735	1,815
0,80	0,980	1,254	0,987	1,835	1,845
0,79	1,000	1,266	1,000	1,850	1,850

Из таблицы видно, что, начиная с $\eta = 0{,}79$ до $\eta = 0{,}85$, одному и тому же значению η соответствуют два значения функции: $\Sigma(\eta)$, $\Phi(\eta)$, $\Pi(\eta)$, $\Theta(\eta)$, $T(\eta)$.

Объясняется это тем, что одно и то же значение η, начиная с $\eta = 0{,}79$, в данном орудии может быть получено дважды: или при нормальном развитии наибольшего давления p_m ближе к дну канала, или при развитии наибольшего давления p_m ближе к дульному срезу.

Пользуясь таблицей 26, находим значения давления, скорости и пути снаряда для момента наибольшего давления и момента вылета снаряда из канала. Для нахождения промежуточных значений давления, скорости и времени в функции от пути снаряда служит таблица 27, в которой даны численные значения функций $H(\lambda) = \eta$; $\Psi(\lambda) = \frac{p}{p_m}$; $\Omega(\lambda) = \frac{v}{v_m}$ и $Z(\lambda) = \frac{t}{t_m}$.

Входной величиной в таблицу 27 является величина $\lambda = \frac{l}{l_m}$.

Таблица 27

$\lambda = \frac{l}{l_m}$	$H(\lambda) = \eta$	$\Psi(\lambda) = \frac{p}{p_m}$	$\Omega(\lambda) = \frac{v}{v_m}$	$Z(\lambda) = \frac{t}{t_m}$
0,25	0,445	0,690	0,375	0,689
0,50	0,615	0,890	0,624	0,830
0,75	0,723	0,970	0,828	0,924
1,00	0,790	1,000	1,000	1,000
1,25	0,833	0,966	1,145	1,063
1,50	0,848	0,893	1,268	1,119
1,75	0,849	0,828	1,372	1,170
2,00	0,843	0,769	1,460	1,218
2,50	0,818	0,668	1,609	1,306
3,00	0,786	0,590	1,726	1,387
3,50	0,753	0,527	1,824	1,463
4,00	0,721	0,475	1,909	1,536
4,50	0,691	0,433	1,981	1,606
5,00	0,663	0,397	2,046	1,672
6,00	0,614	0,340	2,158	1,801
7,00	0,572	0,297	2,250	1,923
8,00	0,536	0,263	2,328	2,042
9,00	0,504	0,236	2,395	2,156
10,00	0,476	0,214	2,453	2,267
11,00	0,451	0,195	2,504	2,376
12,00	0,429	0,179	2,551	2,483
13,00	0,409	0,166	2,592	2,588
14,00	0,391	0,154	2,630	2,692
15,00	0,375	0,144	2,665	2,794
16,00	0,360	0,135	2,698	2,895
17,00	0,347	0,127	2,730	2,994
18,00	0,335	0,120	2,760	3,092
19,00	0,323	0,114	2,787	3,189
20,00	0,312	0,108	2,812	3,286
25,00	0,270	0,086	2,921	3,758
30,00	0,238	0,071	3,004	4,214
35,00	0,213	0,060	3,070	4,659
40,00	0,194	0,052	3,132	5,095
50,00	0,164	0,041	3,220	5,946
75,00	0,120	0,027	3,373	7,995
100,00	0,096	0,020	3,480	9,966

Задаваясь различными значениями λ в пределах от $\lambda = 0{,}25$ (наименьшее значение λ в таблицах) до $\lambda = \lambda_\partial = \frac{l_\partial}{l_m}$, находим по таблице 27 соответствующие значения функций $\Psi(\lambda)$, $\Omega(\lambda)$ и $Z(\lambda)$. По найденным функциям, имея заданную величину p_m и найдя предварительно по таблице 26 значения величин v_m и t_m простым умножением, найдем значения давления, скорости и времени для различных значений λ. Имея данные, полученные на основании таблиц 26 и 27, можно построить кривые давлений и скорости в функции от пути снаряда или времени.

Для перехода от принятых при расчете значений λ к действительным путям снаряда необходимо принятые значения умножить на величину l_m.

Функция $H(\lambda) = \eta$ характеризует прогрессивность сгорания пороха в орудии.

Преимуществом метода Гейденрейха является простота и быстрота расчетов, необходимых для построения кривых давлений и скоростей в зависимости от пути снаряда и времени. Недостатком является то, что не учитывается ни плотность заряжания, ни природа пороха, ни форма зерна, что неизбежно отражается на характере развития давления, а следовательно, и скорости снаряда.

Кроме того, пользуясь таблицами Гейденрейха, нельзя установить положение конца горения пороха, что важно знать при расчете ствола.

Порядок расчета по таблицам Гейденрейха следующий.

По заданным d, v_∂, q, p_m, ω, l_∂, s определяют

$$p_{\text{ср}} = \frac{q\left(1 + \frac{1}{2}\frac{\omega}{q}\right)v_\partial^2}{2gsl_\partial}$$

$$\eta = \frac{p_{\text{ср}}}{p_m}.$$

Затем по таблице 26, по найденному η находят (иногда интерполированием) значения $\Sigma(\eta)$, $\Phi(\eta)$ и $\Theta(\eta)$. Имея значения этих функций, определяют:

$$l_m = l_\partial \Sigma(\eta);$$

$$v_m = v_\partial \Phi(\eta);$$

$$t_{\text{ср}} = \frac{2l_\partial}{v_\partial};$$

$$t_m = t_{\text{ср}} \Theta(\eta).$$

Имея эти величины, определяют p, v и t, для чего рассчитывают $\lambda_\partial = \frac{l_\partial}{l_m}$. Задаваясь значениями λ от 0,25 до λ_∂, из таблицы 27 находим соответствующие значения функций $\Psi(\lambda)$, $\Omega(\lambda)$, $Z(\lambda)$.

С помощью этих функций по формулам находим:

$$p = p_m \Psi(\lambda);$$

$$v = v_m \Omega(\lambda);$$

$$t = t_m Z(\lambda).$$

Путь снаряда l находим простым умножением значений λ на l_m по формуле $l = \lambda l_m$. После этого строим кривые $p = f(l)$, $v = f(l)$ и $t = f(l)$.

2. Формулы Ледюка

Наиболее часто употребляемыми для приближенного определения v_∂ и p_m являются эмпирические формулы Ледюка (1903 г.). Они позволяют также легко произвести расчет необходимых данных для построения кривых скоростей и давлений в функции от пути и времени.

Простота этих формул составляет их главное преимущество.

На основании рассмотрения большого опытного материала Ледюк принял для скорости снаряда зависимость

$$v = \frac{al}{b+l}, \tag{70}$$

где a и b — постоянные, зависящие от условий заряжания.

Из формулы (70) следует, что при l, стремящемся к бесконечности, v стремится к a:

$$\left(\frac{al}{b+l}\right)_{l\to\infty} = \left(\frac{a}{\frac{b}{l}+1}\right)_{l\to\infty} = a.$$

Следовательно, постоянная a выражает предельное значение скорости, которое могло бы быть получено при бесконечном удлинении канала.

Очевидно, что постоянная a имеет размерность скорости, а постоянная b — размерность длины.

Для вывода формулы для давления воспользуемся уравнением движения снаряда

$$sp = \varphi m v \frac{dv}{dl}.$$

Подставляя в него выражение для скорости снаряда из уравнения (70) и ее производной по пути

$$\frac{dv}{dl} = \frac{ab}{(b+l)^2},$$

получим следующую формулу для давления в функции от пути:

$$p = \frac{\varphi m}{s} a^2 b \frac{l}{(b+l)^3}. \tag{71}$$

Для нахождения пути l_m, проходимого снарядом к моменту наибольшего давления, приравняем нулю производную, взятую от давления по пути:

$$\frac{dp}{dl} = \frac{\varphi m}{s} a^2 b \frac{(b+l)^3 - 3l(b+l)^2}{(b+l)^6} = \frac{\varphi m}{s} a^2 b \frac{b-2l}{(b+l)^4} = 0.$$

$\frac{dp}{dl} = 0$ при $b = 2l$; следовательно,

$$l_m = \frac{b}{2}.$$

Подставляя найденное значение l_m в уравнение (71), получим следующее выражение для наибольшего давления:

$$p_m = \frac{4}{27} \cdot \frac{\varphi m}{s} \cdot \frac{a^2}{b}. \tag{72}$$

Для пользования формулами Ледюка необходимо знание постоянных a и b. Если значения v_∂ и p_m известны из опыта, то постоянные a и b определяются системой уравнений:

$$v_\partial = \frac{al_\partial}{b+l_\partial};$$

$$p_m = \frac{4}{27} \cdot \frac{\varphi m}{s} \cdot \frac{a^2}{b}.$$

Решая эту систему, получаем:

$$a = \frac{27}{8} \cdot \frac{p_m s l_\partial}{\varphi m v_\partial} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{16\varphi m v_\partial^2}{27 p_m s l_\partial}}\right). \tag{73}$$

В этой формуле следует удержать перед знаком радикала только знак минус, так как знак плюс дает для b значение, выходящее за пределы канала.

Обозначая через

$$\eta = \frac{p_{ср}}{p_m} = \frac{\varphi m v_\partial^2}{2 p_m s l_\partial}$$

и вводя это выражение в уравнение (73), получим:

$$a = \frac{27}{16\eta}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{32}{27}\eta}\right) v_\partial . \tag{74}$$

Зная a, величину b найдем из уравнения

$$b = \left(\frac{a}{v_\partial} - 1\right) l_\partial . \tag{75}$$

Кроме того, имеются эмпирические зависимости, позволяющие определить постоянные a и b в зависимости от условий заряжания и характеристик пороха. Ледюк дает их в следующем виде:

$$a = \alpha\left(\frac{\omega}{q}\right)^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{12}} ; \tag{76}$$

$$b = \beta\left(\frac{W_0}{q}\right)^{\frac{3}{8}} (1 - 0{,}75\,\Delta). \tag{77}$$

Величины α и β характеризуют порох. При этом величина α зависит главным образом от природы пороха и изменяется в небольших пределах, а величина β является характеристикой быстроты сгорания пороха, зависит главным образом от толщины порохового зерна и может изменяться в довольно широких пределах (от 2 до 65).

Для американских порохов при размерности *кгдм/сек* величину α можно принять равной 20 800; тогда

$$a = 20800\left(\frac{\omega}{q}\right)^{\frac{1}{2}} \Delta^{\frac{1}{12}} .$$

Зная a, величину b можно определить из уравнения (75).

Зная a и b и пользуясь формулами для давления и скорости в зависимости от пути снаряда, легко рассчитать данные для построения кривых скоростей и давлений в функции от пути.

Для нахождения зависимости между путем и временем исходим из того, что

$$dt = \frac{dl}{v} = \frac{b + l}{al}\, dl .$$

Интегрируя в пределах от t_1 до t и от l_1 до l, найдем:

$$t = t_1 + \frac{1}{a}\left(b \ln \frac{l}{l_1} + l - l_1\right),$$

где l_1 вообще выражает некоторую небольшую величину пути, а t_1 — соответствующее ей время.

Принимая $l_1 = l_m$, а $t_1 = t_m$ и полагая, что на этом участке снаряд движется с постоянным ускорением, равным среднему арифметическому из начального ускорения, равного нулю, и конечного, равного $\frac{4}{27} \cdot \frac{a^2}{b}$, можем написать:

$$l_m = \frac{b}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2}{27} \cdot \frac{a^2}{b} t_m^2 ,$$

откуда

$$t_1 = t_m = \sqrt{\frac{27}{2}} \cdot \frac{b}{a} .$$

Подставляя это значение t_1 в уравнение для t и учитывая, что $l_1 = l_m = \frac{b}{2}$, найдем время прохождения снарядом пути l по каналу:

$$t = \sqrt{\frac{27}{2}} \cdot \frac{b}{2} + \frac{1}{a}\left[b \ln \frac{2l}{b} + l - \frac{b}{2}\right].$$

Проведя необходимые преобразования и переходя к десятичным логарифмам, окончательно получаем:

$$t = \frac{b}{a}\left(3{,}174 + \frac{l}{b} + 2{,}303 \lg \frac{2l}{b}\right). \qquad (78)$$

Порядок расчета по формулам Ледюка следующий. По заданным p_m, $v_д$, q, ω, s, $l_д$, W_0, φ определяют величину

$$\eta = \frac{\varphi m v_д^2}{2 p_m s l_д}.$$

Затем по формуле (74) рассчитывают значение a:

$$a = \frac{27}{16\eta}\left(1 - \sqrt{1 - \frac{32}{27}\eta}\right) v_д$$

и по формуле (75):

$$b = \left(\frac{a}{v_д} - 1\right) l_д.$$

Задаваясь различными значениями l, по формулам (70), (71) и (78) определяют значения p, v и t. После этого строят кривые.

3. Диференциальные формулы

С помощью диференциальных формул устанавливается относительное изменение $v_д$ и p_m в зависимости от изменения различных условий стрельбы. Они имеют большое практическое значение при стрельбе на полигонах, где приходится (варьируя различные условия заряжания) подбирать определенную комбинацию скорости и давления.

Для наших орудий и порохов испытательной комиссией Охтенского порохового завода (ИКОПЗ) были установлены приближенные диференциальные зависимости, дающие относительное изменение $v_д$ и p_m в зависимости от изменения веса заряда ω, веса снаряда q, объема зарядной каморы W_0, толщины горящего свода $2e_1$, температуры заряда t и процентного содержания летучих H.

$$\frac{\Delta v_д}{v_д} = +\frac{3}{4}\cdot\frac{\Delta\omega}{\omega} - \frac{2}{5}\cdot\frac{\Delta q}{q} - \frac{1}{3}\cdot\frac{\Delta W_0}{W_0} - \frac{1}{3}\cdot\frac{\Delta e_1}{e_1};$$

$$\frac{\Delta p_m}{p_m} = +2\frac{\Delta\omega}{\omega} + \frac{3}{4}\cdot\frac{\Delta q}{q} - \frac{4}{3}\cdot\frac{\Delta W_0}{W_0} - \frac{4}{3}\cdot\frac{\Delta e_1}{e_1};$$

$$\frac{\Delta v_д}{v_д} = 0{,}0011\,\Delta t - 0{,}04\,\Delta H;$$

$$\frac{\Delta p_m}{p_m} = 0{,}0036\,\Delta t - 0{,}15\,\Delta H.$$

Пример 1. Насколько изменится начальная скорость при температуре $-7°$ С и при $+27°$ С?

Так как нормальной температурой в артиллерии принята $+15°$ С, то по условиям задачи имеем отклонение на $-22°$ и на $+12°$ от нормальной температуры.

В первом случае изменение $v_д$ будет:

$$\frac{\Delta v_д}{v_д} = -0{,}0011 \cdot 22 = -0{,}0242, \text{ или на } -2{,}4\%,$$

во втором:

$$\frac{\Delta v_д}{v_д} = +0{,}0011 \cdot 12 = +0{,}0132, \text{ или на } +1{,}3\%.$$

Пример 2. Насколько упадет начальная скорость при увеличении объема каморы на 2% и насколько надо увеличить заряд, чтобы довести ее до нормальной?

Изменение начальной скорости вследствие изменения объема каморы равно:

$$\frac{\Delta v_\partial}{v_\partial}\,100 = -\frac{1}{3}\,2 = -\frac{2}{3}\,\%.$$

Необходимое изменение заряда найдется из равенства

$$\frac{\Delta v_\partial}{v_\partial}\,\% = \frac{2}{3} = \frac{3}{4}\cdot\frac{\Delta\omega}{\omega}\,\%$$

и

$$\frac{\Delta\omega}{\omega}\,\% = \frac{2}{3}\cdot\frac{4}{3} = \frac{8}{9}\,\% \approx 1\%.$$

Соответствующее изменение наибольшего давления определится по формуле

$$\frac{\Delta p_m}{p_m}\,\% = 2\frac{\Delta\omega}{\omega}\,\% - \frac{4}{3}\cdot\frac{\Delta W_0}{W_0}\,\% = 2\frac{8}{9} - \frac{4}{3}\,2 = \frac{16}{9} - \frac{8}{3} = -\frac{8}{9}\,\%.$$

ГЛАВА VIII

БАЛИСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СТВОЛА

1. Выбор исходных данных

Балистический расчет имеет целью получение наивыгоднейших размеров канала ствола и условий заряжания, требуемых для сообщения снаряду данного веса определенной дульной скорости. Эта задача является обратной основной задаче внутренней балистики. Балистический расчет является задачей со многими неизвестными, при решении которой нужно определить наибольшее давление пороховых газов p_m, полную длину пути снаряда в канале орудия l_∂, объем каморы W_0, величину заряда ω, толщину свода порохового зерна $2e_1$.

Обычно при проектировании ствола задаются лишь его калибром, весом снаряда и дульной скоростью. Кроме того, могут быть заданы и еще некоторые дополнительные условия, уменьшающие число неизвестных (условие, чтобы ствол имел камору определенных размеров, позволяющую использовать боеприпасы от другого орудия, или чтобы полная длина ствола не превосходила определенной величины).

Однако даже при наличии дополнительных условий число неизвестных всегда превышает общее число поставленных условий. Вследствие этого балистический расчет является задачей неопределенной, допускающей множество различных решений, среди которых приходится выбирать то, которое может быть признано наилучшим по тактико-техническим требованиям.

Обычно при заданной дульной энергии $E_\partial = \frac{mv^2_\partial}{2}$ стремятся получить ствол наименьшего габарита и веса, наиболее живучий, с каморой наименьшего или заданного размера, дающий возможность получить ту же дульную энергию меньшим зарядом и наименьшее рассеивание начальных скоростей. Все эти факторы определяют понятие „наивыгоднейшего решения".

Все эти требования тесно увязаны между собой, и выполнение одного из них невозможно без нарушения другого. Орудие, наивыгоднейшее в одном отношении, оказывается часто весьма невыгодным в других отношениях. Согласование таких противоречивых требований, предъявляемых к проектируемому стволу, требует не только расчетов нескольких вариантов, но и достаточного опыта, позволяющего наметить

рамки изменения определенных величин, сократить число различных вариантов, пользуясь при этом указаниями о степени влияния тех или иных изменений, и произвести правильную оценку полученным вариантам.

Для приблизительной наметки первоначальных значений исходных величин при балистическом проектировании можно воспользоваться приводимой ниже таблицей.

Входной величиной в таблицу является коэфициент могущества C_E, представляющий отношение дульной энергии к кубу калибра:

$$C_E = \frac{E_д}{d^3} = \frac{mv_д^2}{2d^3} \; тм/дм^3.$$

По нему из таблицы может быть найдено наибольшее давление p_m, плотность заряжания Δ, коэфициент использования заряда η_ω и коэфициент бутылочности $\chi = \frac{l_0}{l_{км}}$.

Таблица 28

Исходные величины при балистическом расчете ствола

C_E	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
p_m	1840	2120	2300	2460	2600	2740	2870	3000	3100	3200	3290	3370	3440	3500	3550	3600
Δ	0,47	0,51	0,54	0,57	0,59	0,61	0,62	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70
$\eta\omega$	133	131	129	121	116	112	110	105	98	92	88	82	78	75	72	70
χ	1,03	1,06	1,10	1,15	1,24	1,33	1,43	1,53	1,66	1,74	1,86	1,99	2,14	2,34	2,60	2,91

Приведенная таблица не исключает необходимости балистического расчета, так как она не учитывает всех особенностей проектного задания и главным образом назначения проектируемой системы. Последнее обстоятельство имеет очень важное значение, так как назначение проектируемой системы является решающим фактором, определяющим выбор окончательного варианта.

Полученные из таблицы исходные данные следует сопоставить с имеющимися данными существующих систем того же назначения и окончательно решить вопрос о возможных пределах колебаний полной длины ствола, наибольшего давления, плотности заряжания и коэфициента использования заряда.

Для сопоставления и оценки отдельных вариантов расчета можно воспользоваться таблицей 29, составленной в результате обработки данных существующих систем различных типов.

Входной величиной в таблицу 29 является также коэфициент могущества C_E. По нему из таблицы может быть найдено: наибольшее давление p_m, плотность заряжания Δ, коэфициент использования заряда η_ω, относительный объем каморы $C_{W_0} = \frac{W_0}{d^3}$, приведенная длина каморы $\frac{l_0}{d}$ в калибрах, действительная длина каморы в калибрах $\frac{l_{км}}{d}$, полный путь снаряда по каналу в калибрах $\frac{l_д}{d}$, длина канала ствола в калибрах $\frac{L_{кн}}{d}$, коэфициент веса заряда $C_\omega = \frac{\omega}{d^3}$, коэфициент толщины пороха $C_{e_1} = \frac{e_1}{d}$ для трубчатых и зерненых порохов и коэфициент $\eta = \frac{p_{ср}}{p_m}$.

Таблица 29

Основные балистические характеристики артиллерийских стволов в зависимости от коэфициента могущества $C_E = \frac{E_\partial}{d^3}$

Типы орудий	C_E	$p_m \frac{кг}{см^2}$	$\Delta \frac{кг}{дм^3}$	$\tau_\omega \frac{тм}{кг}$	C_{W_0}	$\frac{l_0}{d}$	$\frac{l_{км}}{d}$	$\frac{l_\partial}{d}$	$\frac{l_{кн}}{d}$	C_ω	C_{e_1} труб.	C_{e_1} зернен.	$\eta = \frac{p_{ср}}{p_m}$
Полевые пушки, гаубицы и мортиры	10	1 000	0,214	167,0	0,28	0,25	0,24	4,0	4,24	0,06	0,0022	0,0009	0,459
	20	1 250	0,333	153,9	0,39	0,38	0,38	5,1	5,47	0,13	34	15	0,462
	30	1 390	0,50	150,3	0,40	0,51	0,50	6,1	6,60	0,20	43	21	0,465
	40	1 500	0,53	148,0	0,51	0,64	0,63	7,2	7,83	0,27	50	27	0,468
	50	1 590	0,55	146,2	0,62	0,77	0,75	8,3	9,05	0,34	57	31	0,472
	60	1 670	0,58	144,8	0,72	0,90	0,87	9,4	10,3	0,42	62	36	0,476
	70	1 740	0,59	144,0	0,83	1,03	0,99	10,6	11,5	0,49	67	40	0,480
	80	1 800	0,595	143,3	0,94	1,16	1,11	11,8	12,9	0,56	71	44	0,484
	90	1 850	0,60	142,6	1,05	1,30	1,24	13,0	14,2	0,63	76	48	0,488
	100	1 890	0,603	142,0	1,16	1,44	1,38	14,2	15,6	0,70	79	51	0,492
	120	1 965	0,607	141,0	1,40	1,78	1,62	16,0	17,7	0,85	85	59	0,500
	140	2 030	0,613	140,0	1,63	2,03	1,97	17,8	19,8	1,00	92	64	0,508
	160	2 090	0,618	138,6	1,86	2,33	2,22	19,5	21,7	1,15	98	70	0,516
	180	2 145	0,618	137,2	2,10	2,68	2,47	21,2	23,7	1,30	0,0103	75	0,524
	200	2 195	0,623	135,9	2,33	2,93	2,72	22,9	25,6	1,45	108	81	0,532
	220	2 235	0,63	134,6	2,57	3,24	2,97	24,6	27,6	1,62	113	86	0,540
	240	2 280	0,637	133,5	2,81	3,59	3,24	26,2	29,5	1,79	118	91	0,548
	260	2 320	0,642	132,4	3,05	3,86	3,60	27,7	31,2	1,96	122	98	0,556
	280	2 350	0,647	131,2	3,29	4,16	3,76	29,1	32,9	2,13	126	99	0,563
	300	2 400	0,651	129,9	3,53	4,50	4,02	30,2	34,2	2,30	130	104	0,570
	320	2 440	0,656	128,5	3,79	4,62	4,29	31,2	35,5	2,49	135	108	0,577
	340	2 475	0,66	127,0	4,06	5,14	4,56	32,2	36,8	2.68	139	112	0,584
	360	2 510	0,665	125,5	4,32	5,46	4,83	33,2	38,0	2,87	143	116	0,591
	380	2 545	0,673	124,1	4,52	5,78	5,10	34,2	39,5	3,04	147	120	0,598
Морские и зенитные пушки	400	2 580	0,67	122,8	4,85	6,10	5,38	35,3	40,7	3,24	0,0151	0,0124	0,605
	420	2 615	0,67	121,5	5,13	6,44	5,65	36,3	42,0	3,44	155	128	0,612
	440	2 650	0,672	120,2	5,42	6,78	5,92	37,3	43,2	3,64	159	132	0,619
	460	2 680	0,673	119,0	5,70	7,12	6,20	38,3	44,5	3,84	163	136	0,626
	480	2 710	0,675	118,0	5,98	7,46	6,38	39,3	45,8	4,04	167	140	0,633
	500	2 740	0,675	117,0	6,28	7,80	6,76	40,3	47,1	4,24	171	144	0,641
	520	2 774	0,67	115,0	6,68	8,15	7,2	41,6	48,8	4,47	176		0,645
	540	2 808	0,682	114,0	6,88	8,53	7,6	42,6	50,2	4,70	179		0,651
	560	2 848	0,687	113,0	7,18	8,90	8,0	43,9	51,7	4,94	183		0,657
	580	2 876	0,692	111,0	7,47	9,28	8,4	44,7	53,1	5,18	187		0,663
	600	2 910	0,698	110,0	7,77	9,70	8,8	45,5	54,3	5,42	191		0,670
	620	2 942	0,70	109,0	8,08	10,13	9,2	46,3	55,5	5,66	193		0,675
	640	2 974	0,70	108,0	8,42	10,56	9,7	47,0	56,7	5,90	197		0,679
	660	3 006	0,70	107,0	8,76	10,99	10,2	47,6	57,8	6,15	201		0,683
	680	3 038	0,70	106,0	9,11	11,42	10,7	48,2	58,9	6,40	206		0,688
	700	3 070	0,70	105,0	9,48	11,85	11,2	48,6	59,8	6,64	210		0,692
	800	3 210	0,70	98,8	11,57	14,36	12,7	52,8	65,5	8,10	228		0,708
Пушки сверхдальнобойные	900	3 360	0,705	92,6	13,90	17,20	14,3	57,3	71,6	9,80	0,0246		0,720
	1 000	3 480	0,70	87,0	16,44	20,41	16,0	61,9	77,9	11,50	262		0,730
	1 100	3 610	0,702	82,9	19,13	23,78	18,0	66,6	84,6	13,40	280		0,740
	1 200	3 890	0,70	77,7	21,87	27,16	19,8	72,0	91,8	15,31	297		0,748
	1 300	3 960	0,70	75,7	24,62	30,66	21,7	78,2	99,9	17,22	315		0,755
	1 400	3 980	0,70	73,1	27,52	34,18	23,3	84,9	108,2	19,26	330		0,759
	1 500	4 090	0,70	70,7	30,42	37,84	25,1	91,6	116,7	21,30	346		0,760
	1 600	4 200	0,70	68,5	33,41	41,50	26,6	98,2	124,8	23,39	361		0,761
	1 700	4 300	0,70	66,5	36,68	45,50	28,5	104,9	133,4	25,95	376		0,762

Величину площади поперечного сечения канала, с учетом нарезов, с достаточной для практики точностью подсчитывают по формуле

$$s = 0{,}8\,d^2.$$

Предельная плотность заряжания для орудий среднего и крупного калибра, при которой возможно составление заряда, равна $\Delta = 0{,}75$, а для орудий мелкого калибра в случае применения графитованных порохов может быть в крайнем случае доведена до 0,85 — 0,90.

Но так как действительный вес заряда в силу самых разнообразных причин может разниться от его расчетной величины, то при окончательном выборе плотности заряжания не следует превышать $\Delta = 0{,}70$ для орудий среднего и крупного калибров и $\Delta = 0{,}80$ для орудий мелкого калибра.

После того как изучены данные о существующих образцах, близких по своим характеристикам к проектируемому, и намечены исходные данные для расчета, можно приступить к расчету.

2. Расчет при помощи таблиц АНИИ

Ниже приводится расчет при помощи таблиц АНИИ. Пусть заданы калибр d, вес снаряда q и дульная скорость $v_д$.

1. Задаваясь величиной η_ω, находим величину заряда

$$\omega = \frac{E_д}{\eta_\omega}.$$

2. Вычисляем коэфициент фиктивности

$$\varphi = k + \frac{1}{3} \cdot \frac{\omega}{q}.$$

3. Вычисляем коэфициент для перехода от табличных скоростей к истинным:

$$n = \sqrt{\frac{1{,}05\omega}{\varphi q}}.$$

4. Находим табличную скорость

$$v_{табл} = \frac{v_д}{n}.$$

5. По намеченным значениям наибольшего давления и плотности заряжания из таблиц находим соответствующее значение параметра B.

6. По значениям $v_{табл}$ и B входим в таблицу скоростей при выбранной плотности и двойной интерполяцией определяем значение $\lambda_д$.

7. По величине заряда, площади поперечного сечения и выбранной плотности заряжания получаем приведенную длину каморы

$$l_0 = \frac{\omega}{\Delta s}.$$

8. Зная l_0, по выбранному коэфициенту бутылочности находим действительную длину каморы

$$l_{км} = \frac{l_0}{\chi}.$$

9. Зная l_0 и $\lambda_д$, рассчитываем полный путь снаряда по каналу

$$l_д = l_0 \lambda_д.$$

10. Полная длина канала

$$L_{кн} = l_д + l_{км}.$$

11. Относительная длина канала, выраженная в калибрах:

$$\frac{L_{кн}}{d}.$$

12. Находим полную длину ствола, учитывая затворную часть прибавлением к длине канала 1,5 d для систем с поршневым затвором и 2 d для систем с клиновым затвором.

Получив в результате расчета первого варианта при некоторых значениях p_m, Δ и η_ω какую-то величину полной длины ствола, необходимо для следующих расчетов принять два-три значения Δ, соседних с исходным, изменяя его через 0,02—0,03 в ту и другую сторону, и таким образом найти наивыгоднейшую плотность заряжания, при которой полная длина ствола будет наименьшей.

После того как в результате расчета вариантов с изменением плотности заряжания выбрана плотность заряжания, дающая наиболее приемлемый результат, следует испытать степень влияния изменения давления. Для этого отступают от исходного значения p_m на 50—100 $кг/см^2$ в ту и другую сторону и при выбранном значении Δ и исходном значении η_ω производят серию расчетов.

В результате этого может быть выбрано наиболее приемлемое значение p_m.

Последним этапом расчета вариантов будет исследование влияния η_ω, для чего следует изменить η_ω на 5—10 в ту или другую сторону от исходного и при выбранных, на основании расчета предыдущих вариантов, p_m и Δ произвести серию расчетов.

Проведенное исследование влияния изменения Δ, p_m и η_ω может дать указание о такой комбинации Δ, p_m и η_ω, при которой можно ожидать наиболее приемлемого результата.

Предлагаемый порядок расчета не является обязательным трафаретом. Ход расчета может быть изменен в зависимости от результатов, полученных при расчете первых вариантов, или в зависимости от поставленных дополнительных условий (например, если будет задана предельная величина наибольшего давления p_m).

Для окончательной оценки вариантов расчета и выбора из них наивыгоднейшего следует результаты расчетов свести в табличку, вычислив дополнительно величину

$$\eta_{l_к} = \frac{l_к}{l_\partial} = \frac{l_к}{l_\partial},$$

характеризующую полноту сгорания пороха в стволе, и величину

$$\eta = \frac{p_{ср}}{p_m} = \frac{\omega E_\partial}{s l_\partial p_m},$$

характеризующую нагрузку металла ствола по длине канала.

№ вар.	Δ	p_m	η_ω	ω	W_0	l_0	$l_{км}$	λ_∂	l_∂	$\frac{L_{ст}}{d}$	$\eta_к$	η

При оценке вариантов нужно исходить из того, что:

1) Δ желательно иметь наименьшей, так как при этом получается меньшее значение $l_к$, а следовательно, меньший разброс скоростей.

2) Величину p_m желательно иметь наименьшей (увеличение живучести ствола).

3) η_ω желательно иметь наибольшей (экономичность выстрела).

4) Длину каморы $l_{км}$ желательно иметь наименьшей (удобство заряжания и экстрагирования гильзы, короткий заряд, удобство транспортировки заряда).

5. Длину ствола, нормально, желательно также иметь наименьшей (уменьшение веса).

6) Величина коэфициента полного сгорания заряда $\eta_к$ не должна превосходить того значения $\eta_к$, при котором обеспечивается полное сгорание в канале при возможных отклонениях толщины горящего свода пороховых зерен.

Наибольшее допустимое значение $\eta_к$ в зависимости от $\lambda_д$ и калибра орудия определяется по графику (рис. 41).

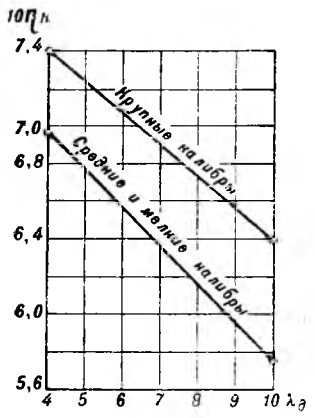


Рис. 41. Зависимость коэфициента полноты сгорания $\eta_к$ от величины $\lambda_д$

Оценка вариантов балистического расчета должна быть тесно увязана с общим проектом системы, так как тип системы и характер ее боевого использования в значительной мере определяют особенности ее элементов.

Для выбранного варианта производится расчет данных для построения кривых давлений и скоростей в функции от пути и времени.

Для расчета толщины горящего свода пороха исходим из найденного для выбранного варианта значения

$$B = \left(\frac{e_1}{u_1}\right)^2 \frac{s^2}{f\omega\varphi m}.$$

Так как при составлении таблиц принято $f = 950\,000$, то, находя из выражения для B величину $2e_1$, можно написать:

$$2e_1 = \frac{u_1}{s}\sqrt{\frac{95\cdot10^4}{98{,}1}\omega\varphi qB} = 196{,}8\,\frac{u_1}{s}\sqrt{\omega\varphi qB}.$$

Величину u_1 можно в первом приближении принять равной 0,0000075. По найденному в первом приближении значению $2e_1$ уточняем ее, пользуясь табличкой, приведенной на стр. 95, и затем по исправленному значению u_1 находим окончательное значение $2e_1$.

Если предполагается в проектируемой системе применить ленточный (пластинчатый) или трубчатый порох, то марка пороха определится величиной $2e_1$.

Если же в проектируемой системе предполагается применить зерненый порох с семью каналами, то для учета горения элементов распада зерна найденную величину $2e_1$ следует умножить на коэфициент 0,7 и по этой исправленной величине определить марку.

Пример.

Задание. Найти основные размеры канала ствола, вес заряда и толщину горящего свода пороха для дивизионной пушки при следующих исходных данных: $d = 76{,}2$ *мм*; $q = 7{,}0$ *кг*; $v_д = 700$ *м/сек*.

Вычисляем:

$$E_д = \frac{7{,}0\cdot700^2}{2\cdot9{,}81} = 174\,800\ кгм = 174{,}8\ тм;$$

$$C_E = \frac{E_д}{d^3} = \frac{174{,}8}{0{,}762^3} = 395\ тм/дм^3.$$

Для $C_E = 395 \approx 400$ из таблицы 28 находим: $p_m = 2460$ *кг/см*^{2}; $\Delta = 0{,}57$; $\eta_\omega = 121$; $\chi = 1{,}15$.

Площадь поперечного сечения канала принимаем равной $s = 0{,}4693$ *дм*^{2}.

Последовательный расчет приведен в расчетном бланке в таблице 30.

Таблица 30

№ по пор.	Формулы	$p_m = 2460$ $\Delta = 0{,}57$ $\eta_\omega = 121$	$p_m = 2460$ $\Delta = 0{,}55$ $\eta_\omega = 121$	$p_m = 2460$ $\Delta = 0{,}60$ $\eta_\omega = 121$	$p_m = 2550$ $\Delta = 0{,}57$ $\eta_\omega = 121$	$p_m = 2350$ $\Delta = 0{,}57$ $\eta_\omega = 121$	$p_m = 2350$ $\Delta = 0{,}57$ $\eta_\omega = 130$	$p_m = 2350$ $\Delta = 0{,}57$ $\eta_\omega = 125$
1	$\omega = \frac{E_\partial}{\eta_\omega} = \Delta W_0$	1,444	1,444	1,444	1,444	1,444	1,345	1,400
2	$\frac{\omega}{q}$	0,2063	—	—	—	—	0,1922	0,2000
3	$\frac{1}{3} \cdot \frac{\omega}{q}$	0,0687	—	—	—	—	0,0640	0,0666
4	k	1,03	—	—	—	—	1,03	1,03
5	φ	1,0990	—	—	—	—	1,0940	1,0966
6	$\frac{\omega}{q} \cdot \frac{1{,}05}{\varphi}$	0,1971	—	—	—	—	0,1844	1,915
7	$n = \sqrt{\frac{\omega}{q} \cdot \frac{1{,}05}{\varphi}}$	0,4439	—	—	—	—	0,4293	0,4375
8	$v_{\text{табл}} = \frac{v_\partial}{n}$	1 577	1 577	1 577	1 577	1 577	1 630	1 600
9	B	1,664	1,568	1,832	1,596	1,7606	1,7606	1,7606
10	λ_∂	4,893	4,737	5,228	4,719	5,139	5,909	5,46
11	$l_0 = \frac{\omega}{\Delta} \cdot \frac{1}{s} = \frac{W_0}{s}$	5,398	5,594	5,128	5,398	5,398	5,027	5,24
12	$l_{\text{км}} = \frac{l_0}{\gamma}$	4,693	4,864	4,460	4,693	4,693	4,371	4,55
13	$l_\partial = l_0 \lambda_\partial$	26,41	26,50	26,80	25,47	27,74	29,71	28,65
14	$L_{\text{кн}} = l_{\text{км}} + l_\partial$	31,10	31,36	31,27	30,16	32,43	34,08	33,10
15	$\frac{L_{\text{кн}}}{d}$	40,80	41,13	41,00	39,58	42,55	44,72	43,50
16	$\frac{L_{\text{ст}}}{d}$	42,35	42,65	42,60	41,05	44,04	46,25	45,00

Расчет первого варианта дает полную длину ствола $\frac{L_{ст}}{d} = 42{,}35$ калибра. Уменьшаем Δ до 0,55.

Второй вариант дает $\frac{L_{ст}}{d} = 42{,}65$ калибра. Увеличиваем Δ до 0,60.

Третий вариант дает $\frac{L_{ст}}{d} = 42{,}6$ калибра.

Расчет первых трех вариантов показывает, что при $\Delta = 0{,}57$ получаем наименьшую длину ствола, а потому для дальнейших расчетов принимаем $\Delta = 0{,}57$ и изменяем давление.

Для расчета четвертого варианта принимаем $p_m = 2550$ *кг/см*^{2}. Получаем $\frac{L_{ст}}{d} = 41{,}05$ калибра.

Пятый вариант рассчитываем при $p_m = 2350$ *кг/см*^{2}. Получаем $\frac{L_{ст}}{d} = 44{,}04$ калибра.

Так как увеличение давления дает сравнительно небольшой выигрыш в длине ствола (изменение на 200 *кг см*^{2} дает изменение на 3 калибра), то для дальнейшего расчета принимаем $p_m = 2350$ *кг/см*^{2} при $\Delta = 0{,}57$ и изменяем η_ω. Давление 2 350 *кг/см*^{2} близко к штатному давлению 76,2-*мм* пушки обр. 1902 г., следовательно, при этом давлении снаряд, состоящий на вооружении, сможет быть использован и для проектируемой пушки.

Шестой вариант рассчитываем при $\eta_\omega = 130$. Получаем $\frac{L_{ст}}{d} = 46{,}25$.

Учитывая, что при $p_m = 2350$ *кг/см*^{2} приемлема длина ствола, равная примерно 45 калибрам, умеьшаем η_ω до 125.

Седьмой вариант дает $\frac{L_{ст}}{d} = 45{,}0$ калибра.

Составляем сводку результатов вычислений.

Таблица 31

№ варианта	Δ	p_m	η_ω	ω	W_0	l_0	$l_{ум}$	r_0	l_0	$L_{кн}$	$\frac{L_{кн}}{d}$	$\frac{L_{ст}}{d}$	$\eta_к = \frac{\lambda_к}{r_0}$	$\eta_\partial = \frac{p_{ср}}{p_m}$
1	0,57	2 460	121	1,444	2,533	5,398	4,693	4,893	26,41	31,10	40,80	42,35	0,399	0,630
2	0,55	2 460	121	1,444	2,625	5,594	4,864	4,737	26,50	31,36	41,13	42,65	0,367	0,628
3	0,60	2 460	121	1,444	2,406	5,128	4,460	5,228	26,80	31,27	41,00	42,60	0,458	0,620
4	0,57	2 550	121	1,444	2,533	5,398	4,693	4,719	25,47	30,16	39,58	41,05	0,378	0,630
5	0,57	2 350	121	1,444	2,533	5,398	4,693	5,139	27,74	32,43	42,55	44,04	0,430	0,628
6	0,57	2 350	130	1,345	2,359	5,027	4,371	5,909	29,71	34,08	44,72	46,25	0,373	0,583
7	0,57	2 350	125	1,4	2,460	5,24	4,55	5,46	28,65	33,10	43,5	45,00	0,404	0,608

По величине $\eta_к$ все варианты удовлетворяют. Из первых трех вариантов следует принять первый, так как он дает наименьшую длину ствола. Сравнивая первый, четвертый и пятый варианты, видим, что изменение давления в бо́льшую сторону дает сравнительно небольшой выигрыш в длине ствола. Этим выигрышем можно пренебречь, исходя из общего назначения проектируемой системы, а потому следует остановиться на давлении 2 350 *кг/см*^{2}. Выбирая такое давление, создаем определенное преимущество проектируемой системы, так как давление 2 350 *кг/см*^{2} позволяет использовать существующий снаряд и в проектируемой системе и в находящейся на вооружении 76,2-*мм* пушке. Если задаться условием, что длина ствола не должна превосходить 45 калибров, то окончательно следует выбрать вариант № 7.

Балистические характеристики проектируемого ствола можно сопоставить с балистическими характеристиками 75-*мм* пушки Бофорс 1929 г., которая при $q = 6{,}5$ *кг*, $p_m = 2480$ *кг/см*^{2} и длине ствола $\frac{L_{ст}}{d} = 46$ калибров дает ту же самую скорость $v_\partial = 700$ *м/сек*.

Сопоставляем данные проектируемого ствола с данными таблицы 29 при $C_E = 400$.

	p_m	Δ	r_ω	$\frac{l_\partial}{d}$	$\frac{l_{кн}}{d}$	$\eta = \frac{p_{ср}}{p_m}$
Таблица 29 . . .	2 580	0,67	122,8	6,10	40,7	0,605
Проектируемый ствол	2 350	0,57	125,0	6,10	43,5	0,608

Из сопоставления этих данных видим, что проектируемый ствол обладает рядом преимуществ, а именно:

1) наибольшее давление значительно меньше, что важно для повышения живучести ствола;

2) плотность заряжания меньше, что облегчает удобство составления заряда и оставляет резерв на случай необходимости повышения могущества системы;

3) коэфициент использования заряда больше, что говорит о сравнительной эффективности выстрела.

Что касается длины каморы и коэфициента η, то они примерно одинаковы.

Длина ствола больше примерно на 3 калибра, что при прочих преимуществах ствола не имеет большого значения.

Рассчитаем для выбранного варианта толщину горящего свода пороха и выберем марку. Примем в первом приближении $u_1 = 0{,}0_5 75$.

$$2e_{1лент} = 196{,}8 \frac{u_1}{s} \sqrt{\omega\varphi q B} = 196{,}8 \frac{0{,}0_5 75}{0{,}4693} \sqrt{1{,}4 \cdot 1{,}097 \cdot 7{,}0 \cdot 1{,}76} =$$
$$= 0{,}01368\ дм \approx 1{,}37\ мм.$$

По таблице 23 для этого значения $2e_1$ находим $u_1 = 0{,}0_5 72$; следовательно, $2e_{1лент}$ будет равно

$$\frac{1 \cdot 37 \cdot 0{,}0_5 72}{0{,}0_5 75} = 1{,}31\ мм.$$

Если будет применен зерненый порох с семью каналами, то толщина горящего свода его будет:

$$2e_1 = 1{,}31 \cdot 0{,}7 = 0{,}92\ мм,$$

что примерно соответствует марке пороха 9/7.

ГЛАВА IX

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ НАИБОЛЬШЕГО ДАВЛЕНИЯ ПРИ ВЫСТРЕЛЕ ИЗ ОРУДИЯ

1. Метод предварительных обжатий крешеров

Давление определяется при помощи крешерных приборов, либо вкладываемых в зарядную камору, либо ввинчиваемых в переднюю грань затвора или в стенку ствола.

О величине давления пороховых газов судят по величине обжатия медного цилиндрика — крешера, помещаемого в крешерный прибор. Чтобы перевести показания крешера в величины давления, надо пользоваться заранее составленной таражной таблицей, дающей зависимость между нагрузкой, которая приложена к крешеру, и обжатием, которое получается при этой нагрузке.

Обычно таражные таблицы для партии крешеров составляются путем обжатия небольшого количества крешеров этой партии на прессе при различных нагрузках.

Для того чтобы уменьшить ошибку, получающуюся при определении давлений по таражной таблице вследствие разнообразия механических качеств крешеров одной и той же партии, влияния инерции поршня крешерного прибора и скорости обжатия при опыте, производят предварительное обжатие крешеров на прессе. Величина нагрузки для предварительного обжатия крешера выбирается с таким расчетом, чтобы соответствующее ей давление было примерно на 200 *кг/см*^{2} меньше ожидаемого при опыте.

2. Вкладной крешерный прибор

В зависимости от объема зарядной каморы применяются вкладные крешерные приборы трех различных объемов: 35, 16 и 4 *см*^{3}. При выборе объема крешерного прибора руководствуются тем соображением, чтобы объем прибора не превосходил 2% объема каморы для мелких калибров и 1% объема каморы для крупных калибров.

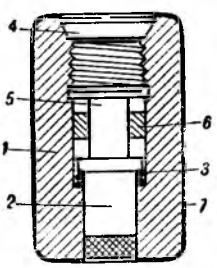


Рис. 42. Вкладной крешерный прибор

Вкладной крешерный прибор состоит из полой цилиндрической коробки *1* с каналом и навинтованным отверстием, поршня *2* с пружиной *3*, хорошо притертого к каналу, и ввинтной крышки *4* (рис. 42). Крешер *5* с надетым на него резиновым кольцом *6* ставится на головку поршня.

Внутреннее очертание коробки показано на рис. 42.

Для предохранения нарезов орудия от порчи стальным прибором на коробку последнего надета рубашка *7* из красной меди.

С целью предохранения от возможных прорывов газов через винтовую нарезку крышки головке ее придана коническая форма. При вполне довинченном положении головка крышки оказывается несколько утопленной в своем гнезде.

Для полного обеспечения прибора от прорыва пороховых газов верхняя площадка головки крышки по круговой линии соприкосновения ее с крышкой обмазывается специальной мастикой. Мастикой же заполняется свободная часть канала под поршнем.

После изготовления на заводе вкладные крешерные приборы подвергают специальным испытаниям.

3. Затворный крешерный прибор

Устройство затворного крешерного прибора, определяющего давление на дно каморы, дано на рис. 43. Для прохода пороховых газов к поршню прибора в дне гильзы *1* сделан канал *2*. Чтобы не было прорыва газов наружу, в особом гнезде канала *2* расположено медное обтюрирующее кольцо *3*. Самый крешерный прибор сделан в гнезде в затворе, и в это гнездо завинчивается втулка *4*. Во втулку вставлен поршенек *5* с головкой, под которой имеется спиральная пружина *6*. Крешер *7* с центрующим резиновым кольцом *8* помещается между дном гнезда и головкой поршня. Выходное отверстие во втулке *4* замазывается мастикой.

Обыкновенно в переднем срезе затвора помещают два горизонтально расположенных крешерных прибора. В случае стрельбы без определения давлений в гнезда для крешерных приборов ввинчивают сплошные стальные пробки.

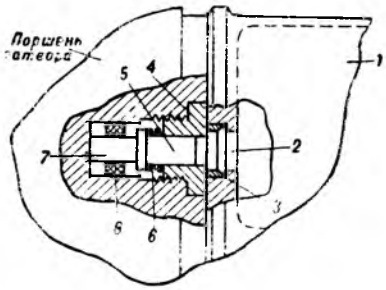


Рис. 43. Затворный крешерный прибор

Прибор в затворе дает более надежные результаты, чем вкладной, так как здесь давление пороховых газов передается только в одном направлении и поршень не может быть зажат стенками, но для пользозования им надо иметь специальные гильзы и затвор.

Так же устраиваются крешерные приборы, ввинчиваемые в гнезда, сделанные в стенках ствола. Ими определяют давления на стенки в различных местах канала.

ОТДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ВНЕШНЯЯ БАЛИСТИКА

★

ГЛАВА I

ВВЕДЕНИЕ

1. Предмет внешней балистики

Внешняя балистика есть наука о движении снаряда в воздухе с момента прекращения действия на него пороховых газов. Пороховые газы вырываются из канала ствола вслед за снарядом и вначале имеют скорость бóльшую, чем снаряд. В силу этого они производят давление на дно снаряда и после вылета его из канала ствола. Период времени от вылета снаряда из канала до прекращения действия газов на снаряд называется *периодом последействия газов*.

Ввиду незначительности участка последействия газов по сравнению со всей траекторией допускают, что снаряд с момента вылета из канала ствола не подвержен действию пороховых газов, а движется в воздухе. При балистических расчетах пользуются начальной скоростью, определяемой опытным путем на некотором расстоянии от точки вылета и приводимой к дулу по формулам внешней балистики. Эта скорость несколько больше фактической скорости, с которой снаряд покидает дульный срез. Таким образом, учитывается в скрытом виде период последействия пороховых газов.

Решение задачи о движении снаряда в воздухе сводится к интегрированию системы шести диференциальных уравнений движения твердого тела: трех уравнений движения центра массы снаряда и трех уравнений движения около центра массы снаряда.

Эти шесть диференциальных уравнений совокупны, так как силы, от которых зависит движение центра массы снаряда, зависят от положения снаряда относительно касательной и от его угловой скорости, а силы, определяющие движение снаряда около центра массы, зависят от координат и скорости центра массы снаряда.

В настоящее время задача о движении снаряда не может быть решена во всей полноте, так как силы, действующие на снаряд, полностью еще не изучены. Даже при некоторых допущениях, упрощающих задачу, ее решение все еще остается очень сложным.

Для решения ряда практических задач вполне достаточно знать движение только центра массы снаряда. Как показывает опыт, в большинстве случаев угол, составляемый осью снаряда с касательной к траектории, невелик. Поэтому полагают, что ось снаряда совпадает с касательной к траектории. В результате такого допущения уравнения движения снаряда приводятся к уравнениям движения его центра массы.

Изучение движения центра массы снаряда, находящегося под действием силы сопротивления воздуха и силы тяжести, при некоторых допущениях и является основной задачей внешней балистики. Решение этой задачи необходимо для разрешения главнейших практических вопросов

внешней балистики, например для вычисления таблиц стрельбы, нахождения наивыгоднейшего балистического решения при проектировании артиллерийских систем и т. д.

Изучение движения снаряда как твердого тела необходимо для определения условий его устойчивости и правильности полета.

2. Основные обозначения и определения[1]

а) Элементы траектории

Система координат — прямоугольная правая.

Плоскость бросания — вертикальная плоскость, проходящая через вектор начальной скорости.

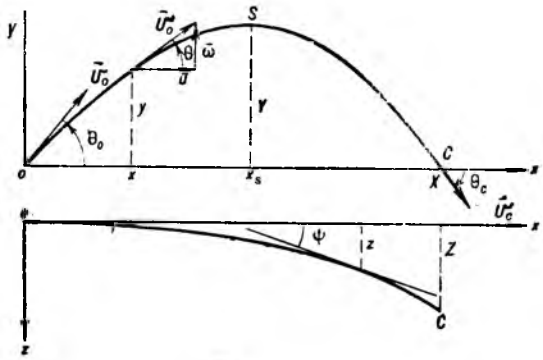


Рис. 44. Траектория снаряда

Начало координат (рис. 44) совпадает с точкой вылета снаряда, которую считаем находящейся на поверхности земли.

Плоскость *xoy* — плоскость бросания.

Плоскость *xoz* — плоскость горизонта в начале координат.

Ось *oz* направлена вправо от плоскости бросания, если смотреть по направлению стрельбы.

Элементы траектории обозначаются:

x — абсцисса;
y — ордината;
z — боковое отклонение;
S — дуга траектории;
t — время;
θ — угол, составляемый касательной к траектории с горизонтом;
ψ — угол, составляемый касательной к горизонтальной проекции траектории с осью ox;
v — скорость;
$u = v\cos\theta$ — горизонтальная проекция скорости;
$w = v\sin\theta$ — вертикальная проекция скорости.

Элементы траектории в точке вылета обозначают индексом „0“:

$$v_0;\ u_0;\ \theta_0 \ldots$$

Элементы в вершине траектории обозначают индексом „s“:

$$v_s;\ u_s;\ \theta_s \ldots$$

Элементы в точке падения обозначают индексом „c“:

$$v_c;\ u_c;\ \theta_c \ldots$$

[1] См.: Артиллерийская терминология (термины, обозначения и определения), выпуск I, Воениздат, 1939 г.

Некоторым наиболее важным элементам траектории дают особые обозначения и названия:

полная горизонтальная дальность $X = x_c$;
полное время полета $T = t_c$;
наибольшая ордината (высота) траектории $Y = y_s$;
боковое отклонение в точке падения $Z = z_c$.

Элементы θ и w имеют положительное значение на восходящей (oS) и отрицательное — на нисходящей (Sc) ветви траектории.

При рассмотрении их величин на нисходящей ветви траектории будем пользоваться знаком абсолютного значения и писать:

$$|\theta| \text{ и } |w|.$$

б) Снаряд

d — калибр;
q — вес.

в) Метеорологические элементы

ρ — плотность воздуха, измеренная в единицах массы на единицу объема;
Π — плотность воздуха, измеренная в единицах веса на единицу объема;
h — давление воздуха в *мм* рт. ст.;
T — абсолютная температура;
e — упругость водяных паров в *мм* рт. ст.;
W — скорость ветра.

Значение метеорологических элементов при $y = 0$ обозначают индексом „0“:

$$\Pi_0;\ h_0 \ldots$$

Нормальное значение метеорологических элементов при $y = 0$ обозначают индексом „0N“:

$$\Pi_{0N};\ h_{0N} \ldots$$

Система единиц — техническая (*кг*; *м*; *сек*).

ГЛАВА II

ПАРАБОЛИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

1. Движение центра массы снаряда в пустоте

Движущийся в воздухе снаряд подвержен действию двух сил: силы тяжести и силы сопротивления воздуха. Обычно сила сопротивления больше силы тяжести. В некоторых же случаях (стрельба снарядом крупного калибра при малой начальной скорости) сила сопротивления воздуха значительно меньше силы тяжести. Малое сопротивление воздуха будет иметь место также при полете снаряда на большой высоте, в разреженных слоях атмосферы.

В настоящей главе рассматриваются законы поступательного движения снаряда в пустоте, т. е. при сопротивлении воздуха, равном нулю. Эти законы являются пределами по отношению к законам движения в воздухе при сопротивлении воздуха, стремящемся к нулю.

2. Дифференциальные уравнения движения и их интегрирование

На снаряд, движущийся в пустоте, действует только сила тяжести.

При решении вопроса о поступательном движении снаряда в пустоте принимают следующие допущения.

1. Поверхность земли есть плоскость, совпадающая с горизонтом точки вылета.

2. Земля неподвижна.

3. Ускорение силы тяжести постоянно как по величине, так и по направлению и перпендикулярно к плоскости горизонта орудия (рис. 45).

При принятых допущениях вектор скорости и сила тяжести $\bar{q} = \overline{mg}$ лежат в плоскости бросания. Следовательно, в этой же плоскости будет лежать и вся траектория.

Из теоретической механики известно, что центр массы твердого тела движется так, как если бы в нем была сосредоточена масса всего тела и все внешние силы, действующие на тело, были приложены к центру массы, причем каждая по своему направлению. Таким образом, будем рассматривать поступательное движение снаряда как движение материальной точки равной с ним массы.

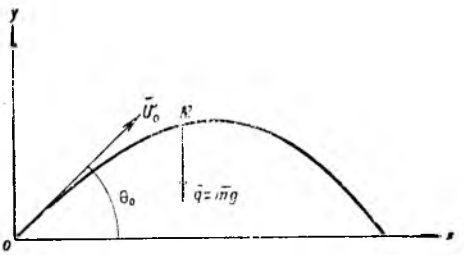


Рис. 45. Траектория снаряда в безвоздушном пространстве

Уравнения движения центра массы снаряда в нашем случае примут вид:

$$\frac{q}{g} x_t'' = 0;$$

$$\frac{q}{g} y_t'' = -q,$$

или

$$\left.\begin{aligned} x_t'' &= 0 \\ y_t'' &= -g \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Начальные условия при $t = 0$:

$$x = 0;\ y = 0;\ x_t' = v_0 \cos\theta_0;\ y_t' = v_0 \sin\theta_0.$$

Замечаем, что вес снаряда q не входит ни в диференциальные уравнения движения, ни в начальные условия. На этом основании делаем следующий вывод:

Движение центра массы снаряда в пустоте не зависит от веса снаряда.

Интегрируя систему уравнений (1) первый раз, находим:

$$x_t' = C_1;$$

$$y_t' = -gt + C_2.$$

Из начальных условий получаем:

$$C_1 = v_0 \cos\theta_0;$$

$$C_2 = v_0 \sin\theta_0,$$

следовательно,

$$\left.\begin{aligned} x_t' &= v_0 \cos\theta_0 \\ y_t' &= -gt + v_0 \sin\theta_0 \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Имея в виду, что $x_t' = u$ — горизонтальная проекция скорости, можем высказать следующее положение:

При движении снаряда в пустоте горизонтальная проекция скорости остается неизменной и равной своему начальному значению.

Интегрируя второй раз, найдем:

$$x = v_0 t \cos\theta_0 + C_3;$$

$$y = -\frac{gt^2}{2} + v_0 t \sin\theta_0 + C_4.$$

Из начальных условий находим, что

$$C_3 = C_4 = 0.$$

Таким образом, в результате второго интегрирования будем иметь:

$$\left.\begin{aligned} x &= v_0 t \cos\theta_0 \\ y &= v_0 t \sin\theta_0 - \frac{gt^2}{2} \end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Исключая переменную

$$t = \frac{x}{v_0 \cos\theta_0}, \tag{4}$$

найдем уравнение траектории в пустоте:

$$y = x \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2\theta_0}. \tag{5}$$

3. Исследование уравнения траектории

Уравнение траектории есть уравнение кривой второго порядка, общий вид которого:

$$Ax^2 + 2Bxy + Cy^2 + 2Dx + 2Ey + F = 0.$$

Вычислив дискриминант $B^2 - AC$ для уравнения траектории, получим:

$$B^2 - AC = 0^2 + \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\theta_0} 0 = 0.$$

Следовательно, траектория в пустоте есть парабола, почему теория движения снаряда в пустоте называется параболической теорией.

Выразим абсциссу через ординату y. Решив квадратное уравнение

$$x^2 - \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g} x + \frac{2v_0^2 \cos^2\theta_0}{g} y = 0,$$

получим два корня:

$$x_1 = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g} - \sqrt{\left(\frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g}\right)^2 - \frac{2v_0^2 \cos^2\theta_0}{g} \cdot y}; \tag{6}$$

$$x_2 = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g} + \sqrt{\left(\frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g}\right)^2 - \frac{2v_0^2 \cos^2\theta_0}{g} \cdot y}. \tag{7}$$

Приняв в уравнениях (6) и (7) $y = 0$, получим значения абсциссы, отвечающие точке вылета и точке падения:

$$x_1 = 0; \quad x_2 = X = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g}. \tag{8}$$

Подставляя найденное значение X в уравнения (6) и (7), найдем:

$$x_1 = \frac{X}{2} - \sqrt{\frac{X^2}{4} - \frac{2v_0^2 \cos^2\theta_0}{g} \cdot y};$$

$$x_2 = \frac{X}{2} + \sqrt{\frac{X^2}{4} - \frac{2v_0^2 \cos^2\theta_0}{g} \cdot y}.$$

Из этих выражений вытекает следующее свойство симметрии траектории:

Равным ординатам отвечают абсциссы, равно удаленные от абсциссы $\frac{X}{2}$.

Углы наклона касательной к траектории в точках, лежащих на одной и той же высоте, равны по абсолютной величине. Действительно:

$$\frac{dx_1}{dy} = -\frac{dx_2}{dy};\ \operatorname{ctg}\theta_1 = -\operatorname{ctg}\theta_2;\ \theta_1 = |\theta_2|.$$

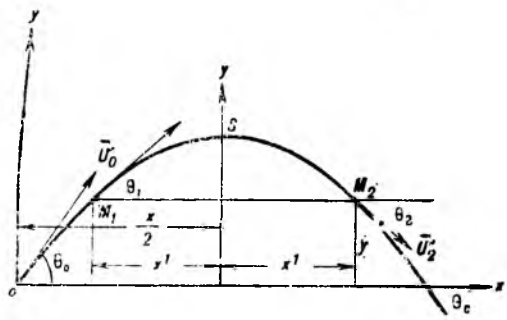


Рис. 46. Траектория снаряда в безвоздушном пространстве

Для точек, лежащих на горизонте, это свойство дает:

$$\theta_0 = -\theta_c;\quad \theta_0 = |\theta_c|.$$

Рассматривая далее выражения (6) и (7) для x_1 и x_2, замечаем, что наибольшее значение ординаты Y, при котором значение абсциссы получается вещественным, определяется уравнением

$$\left(\frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g}\right)^2 - \frac{2v_0^2 \cos^2\theta_0}{g} Y = 0,$$

откуда

$$Y = \frac{v_0^2 \sin^2\theta_0}{2g} = \frac{X \operatorname{tg}\theta_0}{4}. \tag{9}$$

Этому значению ординаты Y отвечает абсцисса $x_S = \frac{X}{2}$.

Окончательно получим следующий вывод:

Траектория центра массы в пустоте (рис. 46) имеет вертикальную ось симметрии, которая отстоит от точки вылета на расстоянии, равном половине полной дальности.

4. Элементы траектории

Для произвольной точки траектории M (x, y) уравнения (4) и (5) определяют значение элементов t и y. Найдем значение остальных элементов.

Диференцируя уравнение (5) и имея в виду, что $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\theta$, получим выражение для угла наклона касательной к траектории:

$$\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gx}{v_0^2 \cos^2\theta_0}. \tag{10}$$

Скорость в любой точке траектории равна

$$v = \sqrt{u^2 + w^2}.$$

На основании уравнений (2) будем иметь:

$$v = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \theta_0 + (v_0 \sin \theta_0 - gt)^2} = \sqrt{v_0^2 - 2gy}. \tag{11}$$

Из уравнения (11) вытекают следующие два свойства:

1. В точках траектории, находящихся на одинаковой высоте, скорости равны.

Следствие: $v_c = v_0$ — окончательная скорость равна скорости начальной.

2. Скорость снаряда убывает с высотой; минимальная скорость будет в вершине траектории.

Для горизонтальной проекции скорости из первого уравнения системы (2) будем иметь:

$$x'_t = u = v_0 \cos \theta_0 = u_0. \tag{12}$$

Для вертикальной проекции скорости $w = y'_t$ из выражения

$$w^2 = v^2 - u^2$$

после подстановки значений v и u из (11) и (12) найдем:

$$w = \pm \sqrt{w_0^2 - 2gy}. \tag{13}$$

Знак плюс соответствует восходящей ветви траектории, а знак минус — нисходящей.

Итак, для некоторой произвольной точки траектории получим следующие значения ее элементов:

$$\left.\begin{aligned} y &= x \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} \\ t &= \frac{x}{v_0 \cos \theta_0} \\ \operatorname{tg} \theta &= \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{gx}{v_0^2 \cos^2 \theta_0} \\ v &= \sqrt{v_0^2 - 2gy} \\ u &= u_0 = v_0 \cos \theta_0 \\ w &= \pm \sqrt{w_0^2 - 2gy} \end{aligned}\right\} \tag{14}$$

Чтобы определить элементы точки падения, подставим значение (8) для полной дальности во второе и третье уравнения системы (14).

После очевидных преобразований будем иметь:

$$T = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g};$$

$$\operatorname{tg} \theta_c = -\operatorname{tg} \theta_0.$$

Из остальных уравнений системы (14) найдем, что:

$$v_c = v_0;$$

$$u_c = u_0;$$

$$|w_c| = w_0.$$

При этом $w_c < 0$, так как $w_c = v_c \sin \theta_c$, а $\theta_c < 0$.

Для определения элементов вершины траектории подставим в первые три уравнения системы (14) значение

$$x_s = \frac{X}{2} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g}.$$

После очевидных преобразований получим;

$$Y = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{2g} = \frac{X \operatorname{tg} \theta_0}{4};$$

$$t_s = \frac{1}{2} T = \frac{v_0 \sin \theta_0}{g};$$

$$\operatorname{tg} \theta_s = \operatorname{tg} \theta_0 - \operatorname{tg} \theta_0 = 0.$$

Из остальных уравнений системы (14) найдем:

$$w_s = 0;$$

$$v_s = \sqrt{u_s^2 + w_s^2} = u_s;$$

$$u_s = v_0 \cos \theta_0 = u_0.$$

Сведем в таблицу значения элементов траектории в пустоте, отвечающих точке падения и вершине.

Таблица 52

Значения элементов траектории в пустоте

	Точка падения	Вершина траектории
x	$X = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g}$	$x_s = \frac{X}{2} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g}$
y	$y_c = 0$	$y_s = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{2g} = \frac{X \operatorname{tg} \theta_0}{4}$
t	$T = \frac{X}{v_0 \cos \theta_0} = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g}$	$t_s = \frac{T}{2} = \frac{v_0 \sin \theta_0}{g}$
$\operatorname{tg} \theta$	$\operatorname{tg} \theta_c = -\operatorname{tg} \theta_0$	$\operatorname{tg} \theta_s = 0$
v	$v_c = v_0$	$v_s = u_s = u_0 = v_0 \cos \theta_0$
u	$u_c = u_0 = v_0 \cos \theta_0$	$u_s = u_0 = v_0 \cos \theta_0$
w	$w_c = -w_0 = -v_0 \sin \theta_0$	$w_s = 0$

5. Исследование семейства траекторий с одинаковой начальной скоростью

1. Угол наибольшей дальности. Из выражения для горизонтальной дальности

$$X = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g}$$

непосредственно следует, что максимальная дальность соответствует углу бросания, при котором $\sin 2\theta_0 = 1$, т. е. $\theta_0 = 45°$.

Следовательно,

$$X_{\max} = \frac{v_0^2}{g}.$$

При угле бросания $90° - \theta_0$ получаем:

$$X = \frac{v_0^2 \sin 2(90° - \theta_0)}{g} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g}.$$

Следовательно, одну и ту же горизонтальную дальность можно получить при двух различных углах бросания: θ_0 и $90° - \theta_0$.

$$X_{(\theta_0)} = X_{(90° - \theta_0)}.$$

2. Огибающая семейства траекторий. Напишем уравнение семейства траекторий, соответствующих различным углам бросания, в следующем виде:

$$y = xp_0 - \frac{gx^2}{2v_0}(1 + p_0^2), \tag{15}$$

где $p_0 = \operatorname{tg} \theta_0$ — параметр семейства кривых.

Для отыскания огибающей диференцируем уравнение (15) по параметру p_0:

$$0 = x - \frac{gx^2}{v_0^2} p_0. \tag{16}$$

Определив p_0 из выражения (16), перепишем уравнение (15) в следующем виде:

$$y = \frac{v_0^2}{g} - \frac{gx^2}{2v_0^2}\left(1 + \frac{v^4}{g^2x^2}\right).$$

Преобразуя, будем иметь:

$$y = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gx^2}{2v_0^2}. \tag{17}$$

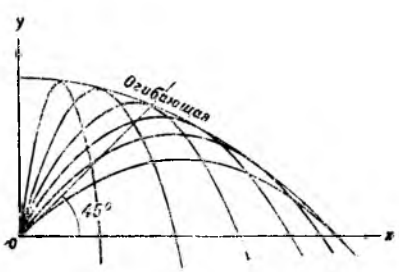


Рис. 47. Огибающая семейства траекторий

Полученное уравнение (17) есть уравнение параболы, у которой осью симметрии является ось *oy*.

Огибающая семейства траекторий (рис. 47) носит название параболы безопасности, так как ни одна точка, взятая вне огибающей, не может поражаться при данной начальной скорости.

Через всякую точку внутри огибающей можно провести две траектории, а через точку, лежащую на огибающей, — только одну траекторию, соприкасающуюся с огибающей в данной точке.

6. Закон понижений

Возьмем второе уравнение системы (3)

$$y = v_0 t \sin \theta_0 - \frac{gt^2}{2}$$

и в первом члене правой части заменим t его значением

$$t = \frac{x}{v_0 \cos \theta_0}.$$

После преобразования получим:

$$x \operatorname{tg} \theta_0 - y = \frac{gt^2}{2}. \tag{18}$$

Из рис. 48 видно, что

$$x \operatorname{tg} \theta_0 - y = AB - MB = AM.$$

Следовательно, $(x \operatorname{tg} \theta_0 - y)$ есть понижение траектории под линией выстрела. Как это следует из уравнения (18), оно зависит только от времени полета, но не зависит от угла бросания.

Удаление по линии выстрела

$$OA = \frac{x}{\cos \theta_0} = \frac{v_0 t \cos \theta_0}{\cos \theta_0} = v_0 t$$

также зависит только от времени полета.

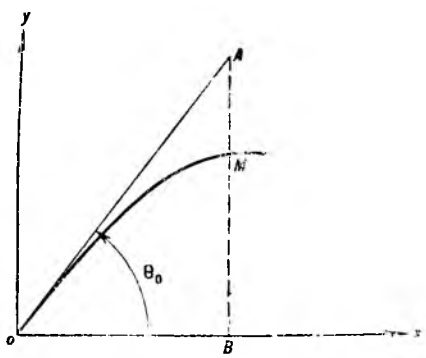


Рис. 48. Понижение траектории под линией выстрела

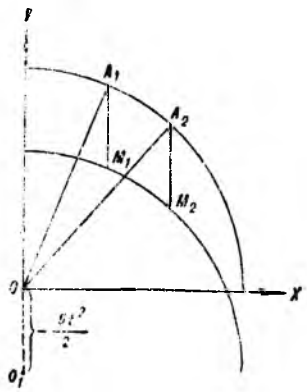


Рис. 49. Изохрона

На основании изложенного приходим к следующему выводу:

Для различных траекторий, отвечающих одной и той же начальной скорости v_0, равным временам полета отвечают равные величины понижений под линией выстрела и равные удаления вдоль линии выстрела.

На основании этого вывода определяется способ построения кривых равных времен полета, или так называемых изохрон (рис. 49).

К построению изохрон приходится прибегать, например, при решении задачи встречи снаряда с подвижной воздушной целью, при баллистических исследованиях и др.

Для построения изохроны, отвечающей некоторому времени t, надо из точки O_1 с координатами $\left(0, -\frac{gt^2}{2}\right)$ как из центра описать окружность радиуса $v_0 t$.

7. Применение параболической теории

Некоторые зависимости, полученные для параболической теории, дают результаты, близкие к тем, которые получаются для случая движения снаряда в воздухе, и потому применяются при решении практических задач. Ниже приводятся некоторые из этих зависимостей.

1. Зависимость угла прицеливания от угла места при постоянной наклонной дальности. Обозначая через x_e наклонную дальность, отвечающую точке траектории $M(x, y)$, будем иметь:

$$\left.\begin{aligned} x &= x_e \cos \varepsilon \\ y &= x_e \sin \varepsilon \end{aligned}\right\} \tag{19}$$

Подставляя в уравнение траектории (5) значение x и y, из уравнений (19) получим:

$$x_\varepsilon \sin\varepsilon = x_\varepsilon \cos\varepsilon \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{g x_\varepsilon^2 \cos^2\varepsilon}{2v_0^2 \cos^2\theta_0},$$

или

$$\frac{g x_\varepsilon \cos^2\varepsilon}{2v_0^2 \cos^2\theta_0} = \frac{\sin\theta_0 \cos\varepsilon - \cos\theta_0 \sin\varepsilon}{\cos\theta_0} = \frac{\sin(\theta_0 - \varepsilon)}{\cos\theta_0},$$

откуда

$$x_\varepsilon = \frac{2v_0^2}{g} \cdot \frac{\sin(\theta_0 - \varepsilon)}{\cos^2\varepsilon} \cos\theta_0.$$

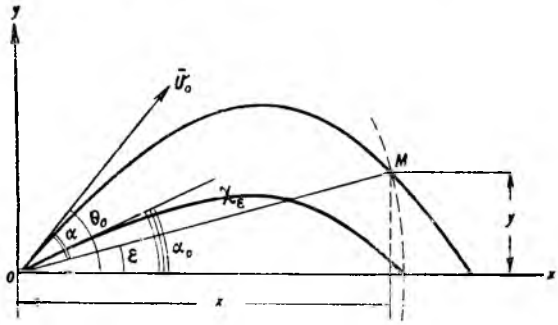


Рис. 50. Зависимость угла прицеливания от угла места

Имея в виду, что $\theta_0 = \alpha + \varepsilon_1$, где α — угол прицеливания, найдем:

$$x_\varepsilon = \frac{2v_0^2}{g} \cdot \frac{\cos(\alpha + \varepsilon)}{\cos^2\varepsilon} \sin\alpha. \tag{20}$$

Если угол места $\varepsilon = 0$, то

$$\theta_0 = \alpha = \alpha_0,$$

где α_0 — угол прицеливания, отвечающий дальности $x = x_\varepsilon$, когда $\varepsilon = 0$, т. е. когда цель находится на горизонте орудия.

Для этого частного случая ($\varepsilon = 0$) уравнение (20) перепишется в следующем виде:

$$x_\varepsilon = \frac{2v_0^2}{g} \cos\alpha_0 \sin\alpha_0 = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{g}. \tag{21}$$

Приравнивая правые части уравнений (20) и (21), получим:

$$\frac{v_0^2 \sin 2\alpha_0}{g} = \frac{2v_0^2}{g} \cdot \frac{\cos(\alpha + \varepsilon)}{\cos^2\varepsilon} \sin\alpha,$$

откуда

$$\sin 2\alpha_0 \cos^2\varepsilon = 2\cos(\alpha + \varepsilon)\sin\alpha. \tag{22}$$

Обычно правую часть уравнения (22) приводят к следующему виду:

$$2\cos(\alpha + \varepsilon)\sin\alpha = 2(\cos\alpha\cos\varepsilon - \sin\alpha\sin\varepsilon)\sin\alpha =$$
$$= \sin 2\alpha \cos\varepsilon - 2\sin^2\alpha \sin\varepsilon =$$
$$= \sin 2\alpha \cos\varepsilon - (1 - \cos 2\alpha)\sin\varepsilon = \sin 2\alpha \cos\varepsilon +$$
$$+ \cos 2\alpha_0 \sin\varepsilon - \sin\varepsilon = \sin(2\alpha + \varepsilon) - \sin\varepsilon.$$

В этом случае уравнение (22) принимает вид:

$$\sin 2\alpha_0 \cos^2 \varepsilon + \sin \varepsilon = \sin (2\alpha + \varepsilon) \tag{23}$$

и известно под названием формулы Лендера.

До последних лет этой зависимостью пользовались при расчете поправок угла прицеливания на угол места, помещаемых в таблицы стрельбы. Однако следует отметить, что зависимость (23) для движения снаряда в воздухе приближенная и годится лишь для грубых, прикидочных расчетов.

2. Относительное время пребывания снаряда в слое. Выпишем формулы для полного времени полета снаряда и для высоты траектории:

$$T = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g};$$

$$Y = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2g}.$$

Возведя обе части первого равенства в квадрат и разделив его почленно на второе, получим:

$$\frac{T^2}{Y} = \frac{8}{g};$$

$$T = \sqrt{\frac{8}{g} Y}. \tag{24}$$

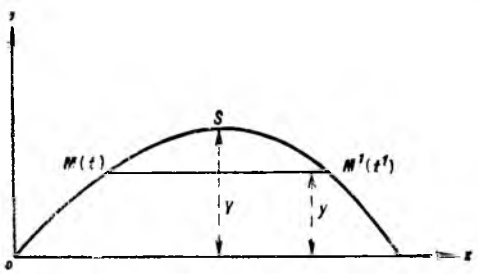


Рис. 51. Время пребывания в слое

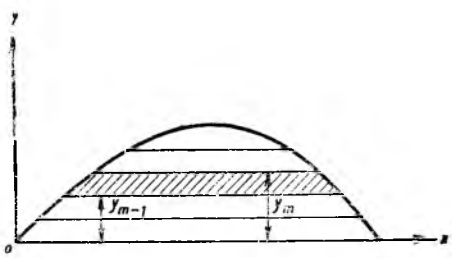


Рис. 52. Слои траектории

Рассмотрим участок траектории (рис. 51), расположенный выше y.

Этот участок траектории можно рассматривать как траекторию с точкой вылета M и точкой падения M'.

Высота этой траектории $Y - y$. Применяя к этой траектории уравнение (24), получим:

$$t_y = \sqrt{\frac{8}{g}(Y - y)}. \tag{25}$$

Здесь t_y — время пребывания снаряда в слое выше y.

Разделив уравнение (25) на (24), будем иметь:

$$\frac{t_y}{T} = \sqrt{\frac{Y - y}{Y}}. \tag{26}$$

Относительное время пребывания снаряда в слое, ограниченном значениями ординат y_{m-1} и y_m, найдем как разность между относительными временами пребывания снаряда в слоях выше y_{m-1} и y_m:

$$\sqrt{\frac{Y - y_{m-1}}{Y}} - \sqrt{\frac{Y - y_m}{Y}}.$$

Если траекторию разбить на n равных по высоте слоев (рис. 52), то для m-го слоя, ограниченного значениями ординат y_{m-1} и y_m, получим:

$$\frac{y_{m-1}}{Y} = \frac{m-1}{n}; \quad \frac{y_m}{Y} = \frac{m}{n}.$$

Обозначая через t_m время пребывания в m-м слое, получим:

$$\frac{t_m}{T} = \sqrt{\frac{Y - y_{m-1}}{Y}} - \sqrt{\frac{Y - y_m}{Y}} = \sqrt{1 - \frac{m-1}{n}} - \sqrt{1 - \frac{m}{n}}$$

и окончательно:

$$\frac{t_m}{T} = \frac{\sqrt{n-m+1} - \sqrt{n-m}}{\sqrt{n}}. \tag{27}$$

Формула относительного времени пребывания снаряда в слое применяется обычно для приближенного определения „весов" слоев при подсчете балистического ветра или балистического изменения температуры.

Балистическим ветром для определенной высоты называется такой постоянный ветер, который вызывает такое же изменение дальности, как и действительный, переменный по высоте ветер.

Балистическим изменением температуры называется постоянное по высоте отклонение температуры от принятого нормального закона распределения температур, которое вызывает такое же изменение дальности, как и действительное, переменное по высоте отклонение температуры.

3. Средняя высота траектории. Площадь, ограниченная траекторией и осью абсцисс, выражается интегралом $\int_0^x y\,dx$.

Найдем среднее значение высоты траектории, определяемое из равенства

$$y_{ср} X = \int_0^x y\,dx,$$

где $y_{ср}$ — высота прямоугольника, построенного на полной дальности и имеющего площадь, равновеликую площади, ограниченной осью абсцисс и траекторией снаряда.

$$y_{ср} = \frac{1}{X}\int_0^x \left(X \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{gX^2}{2v_0^2 \cos^2\theta_0}\right) dx =$$

$$= \frac{1}{X}\left(\frac{X^2 \operatorname{tg}\theta_0}{2} - \frac{gX^3}{6v_0^2 \cos^2\theta_0}\right).$$

После сокращения правой части на X и подстановки вместо X его значения получим:

$$y_{ср} = \frac{2}{3} Y. \tag{28}$$

Формула (28) обычно используется для приближенного подсчета средних вдоль траектории температуры и плотности воздуха, которые при этом принимаются равными температуре и плотности на высоте $y_{ср} = \frac{2}{3} Y$.

ГЛАВА III

ДВИЖЕНИЕ СНАРЯДА В ВОЗДУХЕ

1. Сопротивление воздуха

Воздух представляет ту среду, в которой происходит движение снаряда. Как уже было сказано выше, снаряд при движении в воздухе подвергается действию силы сопротивления.

Огромное влияние, оказываемое силой сопротивления воздуха на движение снаряда, ясно видно из таблицы 33, в которой приведены значения ускорения силы сопротивления для снаряда современной формы калибром 76 *мм*.

Таблица 33

Значения ускорения сопротивления воздуха для 76-*мм* снаряда в зависимости от скорости движения

v м/сек	*j м/сек²*	*v м/сек*	*j м/сек²*
100	0,6	600	62
200	2	700	80
300	8	800	98
400	26	900	116
500	44	1 000	134

Для 7,62-*мм* пули ускорения при тех же скоростях будут приблизительно в 7 раз больше. Как это следует из таблицы 33, при скоростях порядка 600 *м/сек* сила сопротивления воздуха, действующая на 76-*мм* снаряд, превышает силу тяжести примерно в 6 раз, а при скоростях 1 000 *м/сек* — в 13,7 раза.

Рассмотрим причины, вызывающие сопротивление воздуха, который будем рассматривать как сжимаемую жидкость.

Прежде всего рассмотрим сопротивление идеальной несжимаемой жидкости. Напомним, что идеальной несжимаемой жидкостью называется жидкость, лишенная вязкости и имеющая постоянную плотность, не зависящую от давления. Если поверхность тела обтекается несжимаемой жидкостью, лишенной вязкости, то в случае безотрывного обтекания, как это было установлено Даламбером (1774 г.), сопротивление движению жидкости будет равно нулю.

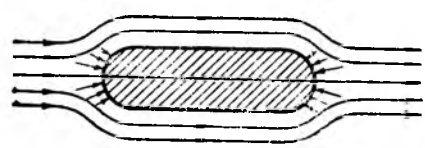


Рис. 53. Движение тела в идеальной жидкости

При отсутствии вязкости реакция жидкости на движущееся в ней тело сводится лишь к силам, нормальным к его поверхности (рис. 53). Жидкость, раздвигаемая телом, создает на его головную часть избыток давления, который, однако, компенсируется избытком давления в донной части вследствие смыкания струй при обтекании тела. Избыток давления на головную часть является результатом динамического давления, возникающего вследствие движения тела в жидкости. В действительности тело испытывает сопротивление при движении даже в том случае, когда вязкость жидкости незначительна. Объяснение этому факту дано проф. Прандтлем, который впервые ввел в рассмотрение так называемый пограничный слой и дал объяснение механизму сопротивления жидкости движущемуся в ней телу, исходя из явлений, протекающих в пограничном слое.

Как установлено проф. Прандтлем, действительная жидкость вследствие своей вязкости при движении около поверхности обтекаемого

тела прилипает к ней. Если вязкость жидкости мала, то уже на небольшом расстоянии от поверхности тела скорость частиц жидкости достигает скорости потока. Этот переходный слой, примыкающий к поверхности обтекаемого тела, в котором скорость потока падает до нуля, и называется пограничным слоем. Переход от скоростей потока к скорости, равной нулю у поверхности обтекаемого тела, происходит в очень тонком слое.

Как известно из закона внутреннего трения, открытого Ньютоном,

$$\tau = \mu \frac{dv}{dn},$$

где τ — касательное напряжение;
μ — коэфициент вязкости жидкости;
dn — толщина слоя;
dv — разность скоростей обтекания на границах слоя.

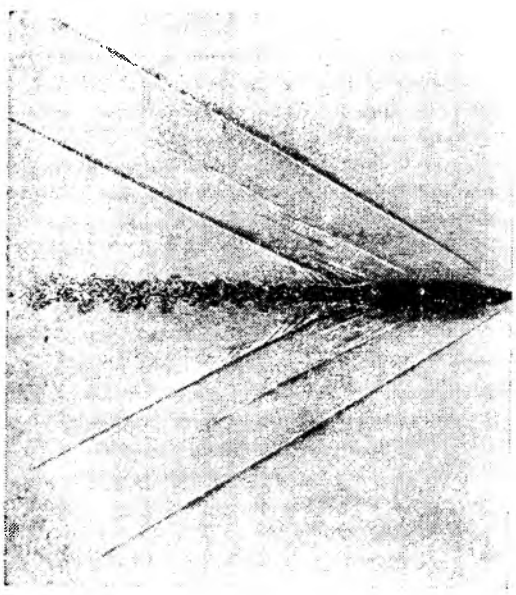


Рис. 54. Фото полета пули в воздухе

Так как пограничный слой очень тонок, а разность скоростей достигает значительной величины, то несмотря на малую для воздуха величину коэфициента вязкости будут возникать значительные силы трения. Это — первая причина, вызывающая сопротивление воздуха.

Вторая причина, вызывающая сопротивление воздуха, — это отрыв пограничного слоя от обтекаемой поверхности. При этом пограничный слой распадается на вихри, образующие вихревой след за движущимся телом.

Кроме того, при отрыве пограничного слоя образуются области пониженного давления. Образование областей пониженного давления, особенно в донной части снаряда, приводит к тому, что избыток давления на головную часть снаряда не компенсируется.

Вследствие разности в скоростях обтекания в пограничном слое появляются вихри, образование которых связано с поглощением части энергии снаряда.

Сопротивление, возникающее вследствие отделения пограничного слоя, происходящее в основном от нормальных давлений, носит название сопротивления формы.

Следует отметить, что основной причиной возникновения сил сопротивления трения и сопротивления формы являются касательные напряжения, появляющиеся вследствие вязкости жидкости.

Третья причина, вызывающая сопротивление воздуха, заключается в образовании так называемой балистической волны.

Дело в том, что при движении снаряда в воздухе возникают возмущения, которые распространяются со скоростью звука. Если снаряд движется со скоростью, меньшей скорости звука, то балистическая волна не образуется, так как возникающие уплотнения распространяются со скоростью, большей скорости снаряда. Если же снаряд движется со скоростью, большей скорости звука, то создаваемые возмущения не успевают обогнать снаряд. Образуется так называемая балистическая волна.

Рассматривая фотоснимки пуль, движущихся со скоростями, большими скорости звука (рис. 54), различают при этом следующие волны, образующиеся в воздухе (рис. 55):

1 — головная, или балистическая, волна;
2 — хвостовая волна;
3 — волна, происходящая от следа обжимки;
4 и *5* — слабые волны, отходящие от края дна;
6 — волны, происходящие от шероховатости поверхности пули;
7 — область пониженного давления;
8 — вихреобразования.

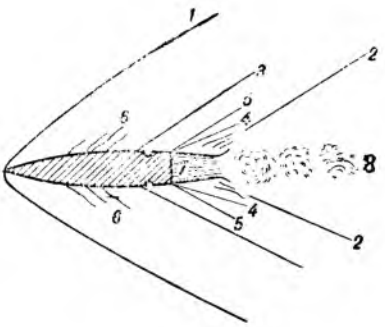


Рис. 55. Волны, образуемые в воздухе летящей пулей

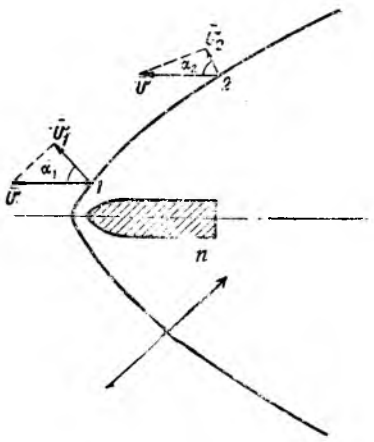


Рис. 56. Головная волна

Головная волна представляет собой скачок давления, поверхность которого обращена выпуклостью в сторону движения. По мере удаления от вершины снаряда скорость распространения головной волны падает (рис. 56).

Действительно, скорость движения волны по направлению движения снаряда равна скорости снаряда v. Скорость распространения в точках *1* и *2* равна соответственно

$$v_1 = v \cos \alpha_1;$$

$$v_2 = v \cos \alpha_2.$$

Так как

$$\alpha_1 < \alpha_2,$$

то и

$$v_1 > v_2.$$

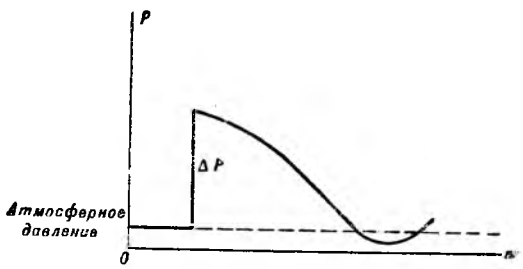


Рис. 57. График распределения давлений в головной волне по нормали

Здесь v_1 и v_2 — скорости распространения возмущения в точках *1* и *2*. Интенсивность волны падает по мере удаления от вершины снаряда. Если построить график распределения давления в волне вдоль нормали к ее поверхности, то он будет иметь вид, показанный на рис. 57.

Из этого видно, что на передней поверхности волны конечное давление Δp сопрягается скачком с невозмущенной средой (атмосферным давлением). Таким образом, на поверхности балистической волны образуется скачок давления. При больших скоростях движения снаряда образование балистической волны является основной причиной возникновения сопротивления воздуха.

Как известно, задача учета сопротивления воздуха не имеет еще полного теоретического решения. Из предлагаемых теоретических зависимостей отметим формулу Релея, которая имеет практическое примене-

ние, так как она дает хорошие результаты при подсчете давления на малую площадку, находящуюся в вершине снаряда и расположенную перпендикулярно оси снаряда. Пользуясь этой формулой, определяют давление на мембрану или папиросу взрывателя, а также динамическое давление в канале колпака дистанционной трубки, если выходное сечение канала расположено в вершине параллельно оси снаряда.

Формула Релея имеет вид:

$$\frac{p_в}{p} = \frac{166{,}7\, v^7}{a^2 (7v^2 - a^2)^{2{,}5}}$$

для случая, когда $v > a$, и

$$\frac{p_в}{p} = \left(1 + 0{,}2\,\frac{v^2}{a^2}\right)^{3{,}5}$$

для случая, когда $v < a$.

Здесь $p_в$ — давление в вершине снаряда;
p — атмосферное давление;
a — скорость звука.

2. Выражение для силы сопротивления воздуха

Из гидромеханики известно, что сила сопротивления определяется следующей зависимостью:

$$R = S\frac{\rho v^2}{2}\, k\left(\frac{v}{a}; \frac{vd}{\nu}\right), \tag{29}$$

где S — площадь поперечного сечения;

$\frac{\rho v^2}{2}$ — скоростной напор;

ν — кинематический коэфициент вязкости среды;

$\frac{vd}{\nu}$ — число Рейнольдса;

k — функция от двух величин: отношения $\frac{v}{a}$ и числа Рейнольдса.

Функция k определяется опытным путем. При малых скоростях, порядка скоростей самолета, решающее влияние на величину этой функции оказывает число Рейнольдса. Поэтому сила сопротивления воздуха, например в самолетостроении, определяется по формуле

$$R = S\frac{\rho v^2}{2} k\left(\frac{vd}{\nu}\right).$$

Для скоростей, какие имеют артиллерийские снаряды, решающее влияние на величину k оказывает отношение $\frac{v}{a}$, которое у нас принято называть числом Бэрстоу.

Поэтому в данном случае пользуются зависимостью

$$R = S\frac{\rho v^2}{2}\, k\left(\frac{v}{a}\right). \tag{30}$$

Величина R определяется опытным путем, который состоит в измерении потери скорости снаряда при движении его в воздухе. С этой целью скорость снаряда измеряется в двух точках траектории, лежащих приблизительно на одной высоте. Этого можно достигнуть, стреляя под

углом бросания, близким к нулю. Траекторию начального участка, на котором определяется скорость, можно считать прямолинейной. Составим уравнение живых сил.

Изменение живой силы снаряда должно равняться работе силы сопротивления на пути между точками, в которых определяется скорость:

$$\frac{q}{2g}\left(v_2^2 - v_1^2\right) = -\int_0^L R dx.$$

Работой силы тяжести можно пренебречь, поскольку траектория почти горизонтальна.

Вынося R средним значением из-под знака интеграла, получим:

$$R_{\text{ср}} = \frac{q}{2g} \cdot \frac{v_1^2 - v_2^2}{L}. \tag{31}$$

Эта сила сопротивления относится к какой-то скорости, средней между v_1 и v_2. Обычно принимают

$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 + v_2}{2}.$$

Ошибка, совершаемая при этом, будет тем меньше, чем меньше L, но, с другой стороны, нельзя брать расстояние L слишком малым, так как при этом разность $v_1^2 - v_2^2$ будет получаться с малой степенью точности.

Кроме описанного метода, сопротивление воздуха определяется помощью обдувки модели снаряда в аэродинамических трубах, а также помощью оптических методов.

Отметим, что в артиллерии зависимость (30) приводят к виду:

$$R = \frac{id^2}{g} \cdot \frac{\Pi}{1{,}206}\, 1000\, v^2 \cdot 4{,}74 \cdot 10^{-4} k\left(\frac{v}{a}\right), \tag{30а}$$

где i — коэфициент формы снаряда;

Π — плотность воздуха в $кг$;

1,206 — плотность воздуха на земле при нормальных условиях.

При балистических расчетах часто пользуются функциями $G(v)$ и $F(v)$, которые связаны с функцией $k\left(\frac{v}{a}\right)$ следующими зависимостями:

$$\frac{F(v)}{v^2} = \frac{G(v)}{v} = 4{,}74 \cdot 10^{-4} k\left(\frac{v}{a}\right).$$

Функция $F(v)$ называется законом сопротивления воздуха.

3. Законы сопротивления воздуха

В настоящее время наибольшее распространение у нас имеет закон сопротивления воздуха Сиаччи. Наряду с этим применяется закон Гарнье, и иногда приходится пользоваться данными закона Майевского-Забудского.

Обрабатывая опыты по сопротивлению воздуха Круппа, Башфорта, Майевского и Хойеля, Сиаччи выразил закон сопротивления воздуха следующей эмпирической формулой:

$$F(v) = 0{,}2002\, v - 48{,}05 + \sqrt{(0{,}1648v - 47{,}95)^2 + 9{,}6} + \frac{0{,}0442\, v(v - 300)}{371 + \left(\frac{v}{200}\right)^{10}}.$$

Закон Гарнье базируется на опытах Дюпюи 1921—1923 гг. со снарядами современной формы.

При этом для R принято эмпирическое выражение:

$$R = A[\varphi(v) - B\psi(v)],$$

где для

$v < a = 341$ *м/сек* . . . $\varphi(v) = 48{,}5 + 122 \cdot 10^{-0{,}017\,(341-v)}$;

$v > a = 341$ „ . . . $\varphi(v) = v - 170{,}5 + 0{,}166\,(v-700)\,10^{-\frac{(v-660)^2}{21000}}$;

$v < a = 341$ „ . . . $\psi(v) = 0{,}347 + 0{,}653 \cdot 10^{-0{,}017\,(341-v)}$;

$v > a = 341$ „ . . . $\psi(v) = 1$;

A и B — постоянные числа, зависящие от формы снаряда.

Закон сопротивления воздуха „1930 г.“, на основе которого составлены балистические таблицы АНИИ, представляет собой несколько сглаженный в районе скорости звука закон сопротивления Гарнье.

Русские балисты Н. В. Майевский и Н. А. Забудский составили на основании русских и крупповских опытов эмпирические формулы в виде степенных одночленов для различных областей скорости движения снаряда. Для сопротивления воздуха они приняли выражение:

$$R = iBn\,\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}}\, v^n,$$

где

$$F(v) = B_n v^n.$$

Коэфициенты B_n подбирались так, чтобы значения R на границах участков были одинаковы. Производные от сопротивления по скорости на этих границах будут иметь конечные разрывы.

Значения B_n и показателей n даны в таблице 34.

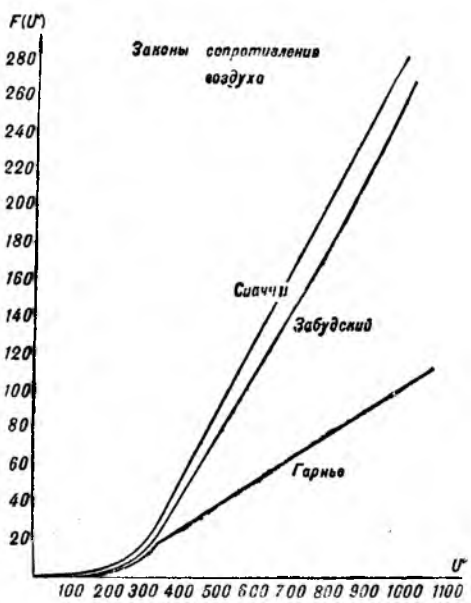


Рис. 58. Графики законов сопротивления воздуха

Таблица 34

Пределы скоростей в *м/сек*	B_n	n
0— 240	0,0140	2
240— 295	$0{,}0_4583$	3
295— 375	$0{,}0_9670$	5
375— 419	$0{,}0_4940$	3
419— 550	0,0394	2
550— 800	0,2616	1,70
800—1 000	0,7130	1,55

На рис. 58 представлены графики законов сопротивления воздуха.

4. Балистический коэфициент и коэфициент формы снаряда

Имея в виду зависимость (30а) для силы сопротивления воздуха, напишем выражение для ускорения этой силы:

$$j = \frac{id^2}{q}\,1000\,\frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}} H(y) F(v).$$

Введем обозначение

$$c = \frac{id^2}{q}\,1000\,\frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}}.$$

Величина c носит название баллистического коэфициента. Вводя значение c, можем написать:

$$i = cH(y)F(v).$$

Для уменьшения j нужно уменьшить c, что достигается при прочих равных условиях уменьшением i и увеличением q.

Для выяснения влияния калибра на величину балистического коэфициента вместо абсолютного веса снаряда введем коэфициент веса, т. е. отношение веса снаряда к кубу калибра, выраженному в дециметрах:

$$c_q = \frac{q}{d^3},$$

тогда

$$c = \frac{i}{c_q d} \cdot \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}}.$$

Отсюда следует, что баллистический коэфициент при прочих равных условиях обратно пропорционален калибру.

Вообще говоря, каждому снаряду соответствует определенный закон сопротивления воздуха. При балистических же расчетах приходится пользоваться законом сопротивления воздуха, относящимся к снаряду, условно принятому за эталон, для которого составлены необходимые для расчета таблицы.

При этом делается допущение, что закон сопротивления воздуха для рассматриваемого снаряда связан с законом сопротивления воздуха для эталонного снаряда следующей зависимостью:

$$F_1(v) = iF_{эт}(v),$$

откуда

$$i = \frac{F_1(v)}{F_{эт}(v)}.$$

Величина i носит название коэфициента формы снаряда.

Следовательно, коэфициент формы есть отношение функции сопротивления воздуха $F_1(v)$ данного снаряда к функции сопротивления $F_{эт}(v)$ снаряда-эталона.

Коэфициент формы в известной мере характеризует собой степень успешности преодоления данным снарядом сопротивления воздуха по сравнению со снарядом эталонным.

Коэфициент формы зависит от угла бросания и начальной скорости и может быть определен после обработки результатов стрельбы.

Поэтому для определения коэфициента формы для данного снаряда проводят стрельбы на дальность при различных скоростях и углах бросания с полным учетом метеорологических и балистических данных.

Среднее значение коэфициента формы i по отношению к закону сопротивления воздуха Сиаччи и к закону сопротивления 1930 г. можно представить таблицей (см. таблицу 35, стр. 164).

В соответствии с этим укажем примерные значения балистического коэфициента применительно к закону Сиаччи.

Для малокалиберной пули $d = 5{,}6$ *мм* величина $c \approx 10{,}0$ и для 400-*мм* снаряда с коэфициентом веса $c_q \approx 16$ величина балистического коэфициента $c \approx 0{,}08$.

Следовательно, балистический коэфициент колеблется в примерных пределах от 0,07 до 10.

Следует подчеркнуть, что нужно всегда обращать внимание, по отношению к какому закону сопротивления воздуха задан коэфициент формы

Таблица 35

№ по пор.	Тип снаряда	i	
		Сиаччи	закон 1930 г.
1	Снаряд старой формы с радиусом оживала около 2 калибров	0,9—1,1	1,6—1,9
2	То же, радиусом оживала около 4 калибров	0,8	1,5
3	Остроконечная легкая пуля	0,55	1,0
4	Снаряды современной формы с суженной донной частью	0,5—0,6	0,9—1,1
5	Тяжелая пуля с суженной хвостовой частью	0,50	0,9

5. Форма снаряда

Из рассмотренных выше причин, вызывающих сопротивление воздуха движению снаряда, можно сделать следующие выводы.

При скоростях движения снаряда, меньших скорости звука, надо избегать отделения пограничного слоя от обтекаемой поверхности и уменьшать поверхностное трение.

Отделение пограничного слоя и образование области низкого давления за дном снаряда имеют значение для всех скоростей. При скоростях движения снаряда, бо́льших скорости звука, к указанным двум причинам присоединяется третья — балистическая волна.

При скорости более 700 *м/сек* можно ожидать образования почти полной пустоты за дном снаряда. Таким образом, при скоростях, бо́льших 700 *м/сек*, сопротивление силы воздуха будет расти главным образом за счет увеличения давления на головную часть снаряда; влияние же донного сопротивления будет падать.

Для уменьшения давления на головную часть надо заострять и удлинять головную часть снаряда.

В целях улучшения обтекания снаряда необходимо по возможности избегать конструирования выдающихся частей на корпусе снаряда, а также образования кольцевых и прочих площадок в головной части. Тщательная отделка наружной поверхности снаряда приводит к небольшому увеличению дальности (1—3%). При этом чем больше скорость снаряда, тем значительнее влияние состояния поверхности снаряда на дальность полета.

Опыт показывает, что форма кривой, которой описана головная часть, имеет второстепенное влияние на сопротивление воздуха. Основным фактором является относительная высота головной части и способ ее сопряжения с цилиндрической частью. Обыкновенно за образующую головной части снаряда принимают дугу окружности, центр которой находится либо на основании головной части, либо несколько ниже. Такая форма головной части носит название оживальной.

Угол между образующей цилиндрической части и касательной к оживалу в точке сопряжения берут около 6°.

Донную часть снаряда конструируют в виде усеченного конуса с углом наклона образующей около 7—9°.

Представление о современной форме артиллерийских снарядов дано на рис. 59.

По оси ординат отложены длины снарядов в калибрах, а по оси абсцисс — начальные скорости в *м/сек*.

График относится к калибру, близкому к 152 *мм*.

На графике ясно видно увеличение длины головной части и общей длины снаряда с возрастанием начальной скорости и уменьшение при этом длины его донной части.

Если, однако, сравнить форму снаряда, соответствующую $v = 900$ *м/сек*, с формой ружейной пули, имеющей ту же приблизительно начальную скорость, то увидим, что по общей длине и длине головной части пуля ближе к снаряду при $v = 600$ *м/сек*, а по длине донной части — ближе к снаряду при $v = 300$ *м/сек*.

Это вполне понятно, если принять во внимание, что скорость пули на полете падает до 150 *м/сек*, а при подобных скоростях донное сопротивление преобладает над головным.

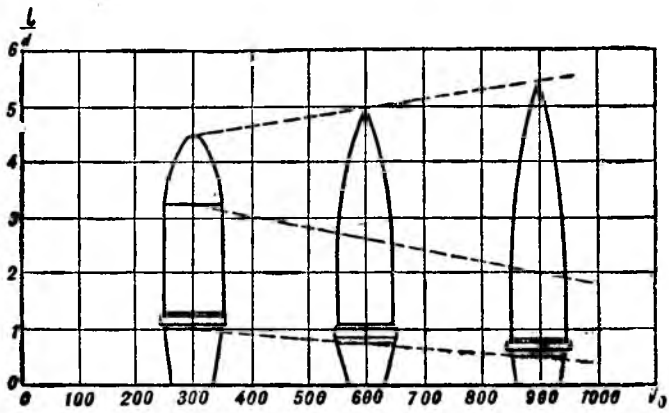


Рис. 59. Форма снаряда в зависимости от скорости

Необходимо отметить, что для увеличения дальности следует руководствоваться следующими соображениями.

В артиллерийских системах, имеющих малые (дозвуковые) начальные скорости, для увеличения дальности полета наиболее рационально увеличивать начальную скорость. Улучшение формы снаряда в этом случае не может дать значительного результата.

При больших же начальных скоростях для увеличения дальности полета необходимо одновременно улучшать форму снаряда и увеличивать его начальную скорость.

Для иллюстрации высказанных положений приводятся таблицы 36—39, составленные по балистическим таблицам АНИИ.

Из этих таблиц видно, что при малых начальных скоростях, при изменении балистического коэфициента от 0,50 до 0,30, т. е. на 40%, дальность изменяется всего на 4 — 8%.

Между тем для этого же случая изменение начальной скорости примерно на 1% изменяет дальность немного меньше чем на 2%.

Таблица 36

Дальности при $\theta_0 = 40°$

c	$v_0 = 200$ *м сек*	Изменение X в %	$v_0 = 250$ *м/сек*	Изменение X в %	$v_0 = 300$ *м/сек*	Изменение X в %
0,30	3 734	0	5 635	0	7 807	0
0,35	3 693	1,1	5 546	1,6	7 646	2,1
0,40	3 653	2,2	5 460	3,1	7 488	4,1
0,45	3 614	3,2	5 375	4,6	7 332	6,1
0,50	3 576	4,2	5 293	6,1	7 183	8,0

Таблица 37

Дальности при $\theta_0 = 40°$

v_0 м/сек	$c = 0{,}30$	Изменение X в %	$c = 0{,}40$	Изменение X в %	$c = 0{,}50$	Изменение X в %
200	3 734	0	3 653	0	3 576	0
205	3 909	4,7	3 820	4,6	3 736	4,5
210	4 090	9,5	3 992	9,3	3 900	9,0
215	4 264	14,3	4 168	14,1	4 067	13,7
220	4 448	19,2	4 347	19,0	4 237	18,5
225	4 649	24,2	4 528	24,0	4 410	23,3

Таблица 38

Дальности при $\theta_0 = 40°$

c	$v_0 = 800$ м/сек	Изменение X в %	$v_0 = 850$ м/сек	Изменение X в %	$v_0 = 900$ м/сек	Изменение X в %
0,30	30 220	0	33 405	0	36 960	0
0,32	29 135	3,6	32 186	3,7	35 564	3,8
0,34	28 128	6,9	31 045	7,1	34 256	7,3
0,36	27 206	10,0	29 982	10,3	33 035	10,6
0,38	26 366	12,8	28 997	13,2	31 900	13,6
0,40	25 609	15,3	28 090	15,9	30 850	16,5

Таблица 39

Дальности при $\theta_0 = 40°$

v_0 в м/сек	$c = 0{,}30$	Изменение X в %	$c = 0{,}40$	Изменение X в %	$c = 0{,}50$	Изменение X в %
800	30 220	0	25 609	0	22 648	0
805	30 538	1,1	25 856	1,0	22 827	0,8
810	30 856	2,1	26 104	1,9	23 006	1,6
815	31 174	3,2	26 352	2,9	23 185	2,4
820	31 492	4,2	26 600	3,9	23 364	3,2
825	31 809	5,3	26 846	4,8	23 543	4,0

При больших скоростях (800 — 900 *м/сек*) изменение балистического коэфициента на 10% приводит к изменению дальности примерно на 5%, а изменение начальной скорости на 3% изменяет дальность на 4 — 5%.

Это подтверждает высказанное выше положение, что в целях увеличения дальности при больших скоростях движения снаряда целесообразно одновременно улучшать форму снаряда и увеличивать начальную скорость.

ГЛАВА IV

ДВИЖЕНИЕ ЦЕНТРА МАССЫ СНАРЯДА В ВОЗДУХЕ

1. Составление дифференциальных уравнений движения центра массы снаряда

Рассмотрим движение центра массы снаряда в воздухе как движение материальной точки, имеющей вес, равный весу снаряда, и к которой приложены сила тяжести и сила сопротивления воздуха.

Как указано выше, решение этой задачи и является содержанием основной задачи внешней балистики.

При решении основной задачи внешней балистики принимаются следующие допущения:

1. Поверхность земли есть плоскость, совпадающая с горизонтом орудия.

2. Земля неподвижна.

3. Ускорение силы тяжести постоянно как по величине, так и по направлению и перпендикулярно плоскости горизонта.

4. Атмосфера неподвижна, т. е. скорость ветра $W = 0$.

5. Сила сопротивления воздуха направлена по касательной к траектории, в сторону, противоположную направлению скорости снаряда.

Составим диференциальные уравнения движения центра массы снаряда. Так как при сделанных нами допущениях сила сопротивления воздуха и сила тяжести лежат в одной плоскости, то и вся траектория будет лежать в этой же плоскости (рис. 60).

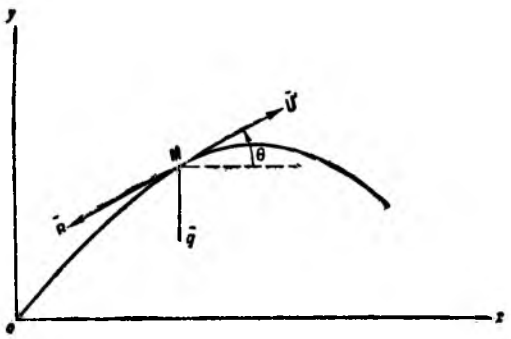


Рис. 60. Траектория снаряда в воздухе

Уравнения движения тогда напишутся следующим образом:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = -R\cos\theta;$$

$$m\frac{d^2y}{dt^2} = -R\sin\theta - q.$$

Имея в виду, что ускорение силы сопротивления воздуха

$$j = \frac{g}{q}R = cH(y)F(v),$$

эти уравнения перепишутся так:

$$\left.\begin{aligned}\frac{d^2x}{dt^2} &= -cH(y)F(v)\cos\theta\\ \frac{d^2y}{dt^2} &= -cH(y)F(v)\sin\theta - g\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

Полученная система двух уравнений второго порядка может быть заменена системой четырех уравнений первого порядка, если воспользоваться переменными:

$$\left.\begin{aligned}u &= v\cos\theta \text{ и } w = v\sin\theta\\ \frac{du}{dt} &= -cH(y)F(v)\cos\theta\\ \frac{dw}{dt} &= -cH(y)F(v)\sin\theta - g\\ \frac{dx}{dt} &= u\\ \frac{dy}{dt} &= w\end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

Напишем начальные условия при $t = 0$:

$$x = 0;\ y = 0;\ x'_0 = v_0\cos\theta_0;\ y'_0 = v_0\sin\theta_0.$$

Подставляя в два первых уравнения системы (2) вместо u и w их значения, будем иметь:

$$\frac{d(v\cos\theta)}{dt} = -cH(y)F(v)\cos\theta;$$

$$\frac{d(v\sin\theta)}{dt} = -cH(y)F(v)\sin\theta - g,$$

или

$$\cos\theta\frac{dv}{dt} - v\sin\theta\frac{d\theta}{dt} = -cH(y)F(v)\cos\theta; \tag{3}$$

$$\sin\theta\frac{dv}{dt} + v\cos\theta\frac{d\theta}{dt} = -cH(y)F(v)\sin\theta - g. \tag{4}$$

Умножая выражение (3) на $\sin\theta$, а выражение (4) на $\cos\theta$ и вычитая почленно из уравнения (4) уравнение (3), найдем:

$$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{v}{g\cos\theta}.$$

Полученные уравнения, а также очевидное равенство

$$v = \sqrt{u^2 + w^2}$$

позволяют написать систему уравнений, определяющих элементы траектории в зависимости от различных аргументов.

Выпишем эти системы уравнений для аргументов t, x и θ в виде следующей таблицы.

Таблица 40

Аргумент t	Аргумент x	Аргумент θ
$\frac{du}{dt} = -cH(y)G(v)u$	$\frac{du}{dx} = -cH(y)G(v)$	$\frac{du}{d\theta} = \frac{c}{g}H(y)\frac{u}{\cos\theta}F(v)$
$\frac{dw}{dt} = -cH(y)G(v)w - g$	$\frac{dp}{dx} = -\frac{g}{u^2}$	$\frac{dx}{d\theta} = -\frac{u^2}{g}\cdot\frac{1}{\cos^2\theta}$
$\frac{dx}{dt} = u$	$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\theta = p$	$\frac{dt}{d\theta} = -\frac{u}{g}\cdot\frac{1}{\cos^2\theta}$
$\frac{dy}{dt} = w$	$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{u}$	$\frac{dy}{d\theta} = -\frac{u^2}{g}\cdot\frac{\operatorname{tg}\theta}{\cos^2\theta}$
$v = \sqrt{u^2 + w^2}$	$v = u\sqrt{1 + p^2}$	$v = \frac{u}{\cos\theta}$

Методы интегрирования диференциальных уравнений движения центра массы снаряда весьма многочисленны. Однако все они могут быть легко разбиты на две группы:

1. Методы приближенного, численного решения точных (в рамках принятых допущений) диференциальных уравнений движения центра массы снаряда.

2. Методы точного, аналитического решения приближенных диференциальных уравнений движения центра массы снаряда.

Методы численного интегрирования наиболее современны и могут выполнять назначение эталона при сопоставлении различных аналитических методов. Аналитические методы решения, благодаря тому что они дают возможность быстро получить окончательные результаты для элементов точки падения или вершины траектории, находят самое широкое применение и до настоящего времени.

2. Общие свойства траектории центра массы снаряда в воздухе

Прежде чем перейти к интегрированию полученных диференциальных уравнений, рассмотрим некоторые общие свойства траектории центра массы снаряда в воздухе, вытекающие из самих диференциальных уравнений.

Эти свойства можно сформулировать в следующем виде:

а) Горизонтальная проекция скорости уменьшается во все время полета. Это следует из уравнения

$$\frac{du}{dx} = \frac{j}{v} = -cH(y)\frac{F(v)}{v} = -cH(y)G(v). \tag{5}$$

Так как $cH(y)$ и $G(v)$ положительны, то $\frac{du}{dx} < 0$ и u убывает вдоль траектории.

б) Угол падения больше угла бросания. Действительно, так как

$$\frac{dy}{d\theta} = -\frac{u^2}{g}\operatorname{tg}\theta\frac{1}{\cos^2\theta},$$

то

$$\operatorname{tg}\theta\frac{d\theta}{\cos^2\theta} = -\frac{g}{u^2}dy,$$

или

$$pdp = -\frac{g}{u^2}dy.$$

Интегрируем последнее равенство дважды: один раз от точки *1* до вершины и второй раз от вершины до точки *2* (рис. 61).

$$\int_{p_1}^{0} pdp = -g\int_{y}^{Y}\frac{dy}{u^2} \quad \text{— для восходящей ветви;}$$

$$\int_{0}^{p_2} pdp = -g\int_{Y}^{y}\frac{dy}{u^2} \quad \text{— для нисходящей ветви,}$$

или

$$\int_{0}^{p_1} pdp = g\int_{y}^{Y}\frac{dy}{u_в^2} \quad \text{и} \quad \int_{0}^{p_2} pdp = g\int_{y}^{Y}\frac{dy}{u_н^2};$$

$$\frac{p_1^2}{2} = g\int_{y}^{Y}\frac{dy}{u_в^2} \quad \text{и} \quad \frac{p_2^2}{2} = g\int_{v}^{Y}\frac{dy}{u_н^2},$$

где $u_в$ — значение u на восходящей ветви;

$u_н$ — значение u на нисходящей ветви.

Так как $u_в > u_н$, то

$$p_1^2 < p_2^2,$$

или

$$p_1 < |p_2|,$$

откуда

$$\theta_0 < |\theta_c|.$$

Таким образом, нисходящая ветвь траектории будет круче ветви восходящей.

в) Окончательная скорость меньше начальной. Рассматривая изменение живой силы снаряда на участке *1—2* (рис. 61), замечаем, что работа силы тяжести равна нулю. Следовательно, изменение живой силы снаряда произошло за счет работы силы сопротивления воздуха.

$$\frac{mv_2^2}{2}-\frac{mv_1^2}{2}=-\int_{s_1}^{s_2} R\,ds.$$

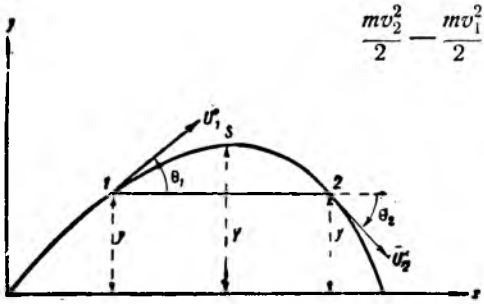


Рис. 61. Траектория снаряда в воздухе

Так как подинтегральная функция положительна, то

$$v_2^2-v_1^2<0,$$

или

$$v_1>v_2.$$

Следовательно, и

$$v_0>v_c.$$

Кроме этого, укажем еще некоторые свойства траектории, доказательства которых можно найти в более полных курсах внешней балистики и в специальной литературе[1].

г) Вертикальная проекция скорости на восходящей ветви траектории по абсолютной величине больше, чем на нисходящей:

$$w_1>|w_2|.$$

д) Время полета от точки вылета до вершины траектории меньше, чем от вершины до точки падения:

$$t_s<T-t_s,\ \text{откуда}\ t_s<\frac{T}{2}.$$

е) Абсцисса, отвечающая вершине траектории, больше половины дальности:

$$x_s>X-x_s,\ \text{откуда}\ x_s>\frac{X}{2}.$$

ж) Угол наклона касательной к горизонту при $t\to\infty$ стремится к предельному значению $\theta\underset{t\to\infty}{=}-\frac{\pi}{2}$.

з) Траектория имеет вертикальную асимптоту к нисходящей ветви траектории на конечном расстоянии от точки вылета.

и) Минимум скорости снаряда лежит за вершиной траектории.

к) Максимум кривизны траектории расположен между вершиной и точкой, отвечающей положению $v_{\min}$.

Из рассмотрения свойств траектории в воздухе следует, что она несимметрична по отношению к вертикали, проходящей через вершину. Траекторию в пустоте (парабола) можно рассматривать как частный случай траектории в воздухе при $c=0$. Следовательно, чем меньше балистический коэфициент, тем больше свойства траектории приближаются к свойствам параболы, и наоборот: чем больше балистический коэфициент, тем больше несимметричность траектории.

Угол наибольшей дальности. Как известно, в пустоте наибольшая дальность получается при $\theta_0=45°$.

[1] Проф. Д. А. Вентцель и Я. М. Шапиро, Курс внешней балистики.

В воздухе угол наибольшей дальности меняется с изменением баллистического коэфициента и начальной скорости. Он может быть больше и меньше 45° и колеблется в очень широких пределах — от 30° до 60°.

На рис. 62 достаточно наглядно показана приблизительная картина изменения угла наибольшей дальности с изменением начальной скорости и балистического коэфициента. Здесь балистический коэфициент взят по „закону 1930 г.".

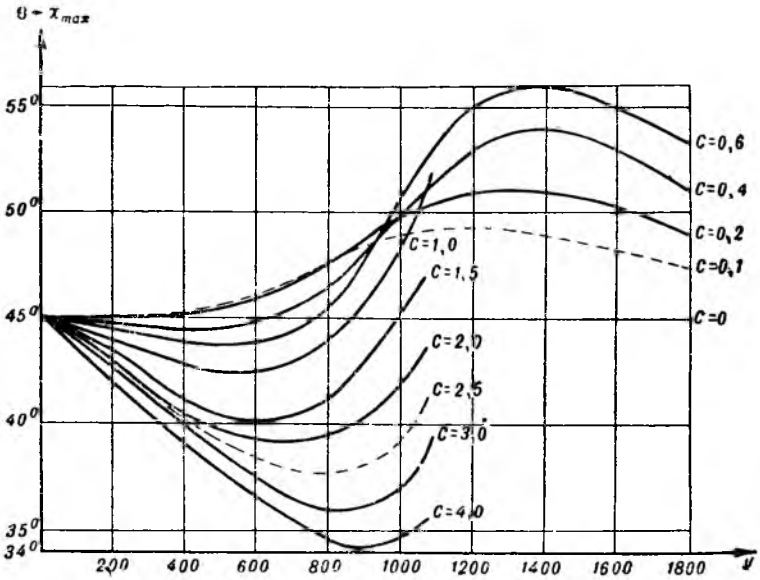


Рис. 62. График углов наибольшей дальности

Заметим, что в диапазоне углов, близких к наибольшей дальности, при их изменении дальность изменяется незначительно.

Для дивизионной артиллерии угол наибольшей дальности меньше 45° (примерно около 43—44°). Для корпусных пушек этот угол весьма близок к 45°. Для орудий большой досягаемости и так называемых сверхдальнобойных (X до 60 *км* и более) угол наибольшей дальности равен 50—56°.

3. Уравнение годографа и методы его интегрирования

Рассмотрим случай, когда атмосфера является однородной, т. е. примем П постоянным вдоль всей траектории и равным некоторому среднему значению $\Pi_{ср}$.

В этом случае

$$H(y) = \frac{\Pi_{ср}}{\Pi_0} = \text{const},$$

и первое уравнение из системы уравнений по аргументу θ (таблица 40) примет вид:

$$\frac{du}{d\theta} = \frac{c}{g} \cdot \frac{\Pi_{ср}}{\Pi_0} \cdot \frac{u}{\cos\theta} F\left(\frac{u}{\cos\theta}\right), \tag{6}$$

или, иначе,

$$\frac{d(v\cos\theta)}{d\theta} = \frac{c}{g} \cdot \frac{\Pi_{ср}}{\Pi_0} vF(v). \tag{7}$$

Это уравнение в балистике имеет весьма важное значение. Оно устанавливает связь между величиной и направлением скорости в любой точке траектории, а следовательно, представляет собой диференциальное уравнение годографа скоростей.

Уравнение годографа, содержащее всего две переменные, является наиболее простым, и его можно интегрировать отдельно от остальных. Поэтому на его исследование и интегрирование всегда обращается особое внимание.

Рассматривая уравнение годографа, замечаем, что переменные v и θ или u и θ не могут быть отделены. Следовательно, уравнение годографа точному интегрированию не поддается.

Для отделения переменных следует либо принять достаточно простое аналитическое выражение для закона сопротивления воздуха, годное для всей траектории, или заменить $F\left(\frac{u}{\cos\theta}\right)$ таким приближенным значением, при котором под знаком функции осталась бы одна переменная.

В зависимости от выбора пути отделения переменных будем иметь две группы методов решения основной задачи внешней балистики, область применения которых будет обязательно ограничена известными условиями, вытекающими из существа принятых допущений.

Допущение первой группы методов заключается в том, что действительная эмпирическая функция $F(v)$, выражающая зависимость сопротивления воздуха от скорости снаряда, заменяется достаточно простым аналитическим выражением, позволяющим проинтегрировать уравнение годографа.

Основной недостаток такого допущения заключается в том, что, как это следует из главы III, ни одно простое аналитическое выражение не воспроизводит действительной картины явления на сколько-нибудь значительном участке изменения скоростей.

Следовательно, заменяя $F(v)$ простым аналитическим выражением, необходимо строго ограничивать применимость метода только для тех значений скоростей, для которых принятый приближенный закон $F(v)$ действителен на всем протяжении траектории.

Допущение второй группы методов заключается в том, что функция $F\left(\frac{u}{\cos\theta}\right)$ заменяется таким приближенным значением, при котором одна из переменных, а именно θ, выносится из-под знака функции. При этом допущении совершают ошибку, величина которой будет зависеть от характера изменения величины $\cos\theta$ в условиях решаемой задачи.

Естественно, что величина ошибки будет тем меньше, чем меньше будет изменяться на протяжении всей траектории $\cos\theta$.

Таблица 41

θ°	$\cos\theta$	$\frac{\cos 0^\circ - \cos\theta}{\cos 0^\circ}$
0	1,000	0,000
5	0,996	0,004
10	0,985	0,015
15	0,964	0,034
20	0,940	0,060

Из этой таблицы следует, что величина $\cos\theta$ при изменении θ от 0° до 20° изменяется только на 6%. С увеличением диапазона изменения угла θ будут расти и ошибки от замены функции $F\left(\frac{u}{\cos\theta}\right)$ ее приближенным значением.

Следовательно, методы решения основной задачи внешней балистики, относящиеся ко второй группе, годны для любых скоростей, но ограничены в отношении изменения углов бросания.

Необходимо отметить, что первая группа методов решения основной задачи внешней балистики применяется у нас в СССР только при определении элементов траектории при начальных скоростях, меньших 240 *м/сек*. Вторая же группа методов находит широкое применение.

4. Решение основной задачи внешней балистики по методу Эйлера-Отто

Задача точного интегрирования уравнения годографа была решена Эйлером при допущении, что плотность воздуха при изменении высоты остается постоянной, т. е. $H(y) = \text{const}$, а зависимость для закона сопротивления воздуха принята в виде одночлена $F(v) = Bv^n$, где B и n — постоянные числа.

Известно, что один и тот же одночленный закон сопротивления можно применять только для узкого интервала скоростей. Поэтому метод Эйлера в общем виде не получил практического применения. В случае же стрельбы с малыми начальными скоростями (до 240 *м/сек*) можно принять с достаточной степенью точности квадратичный закон сопротивления воздуха в виде одночлена $F(v) = Bv^2$.

Для этого частного случая задача была решена и практически разработана Отто. Он же составил и таблицы, видоизмененные в дальнейшем Сиаччи. Эти таблицы, известные под названием таблиц Отто-Сиаччи, имеют большое практическое применение.

Интегрирование уравнения годографа. Выпишем систему диференциальных уравнений по аргументу θ:

$$\frac{du}{d\theta} = \frac{c}{g} H(y)\, vF(v);$$

$$\frac{dx}{d\theta} = -\frac{u^3}{g} \cdot \frac{1}{\cos^2\theta};$$

$$\frac{dt}{d\theta} = -\frac{u}{g} \cdot \frac{1}{\cos^2\theta};$$

$$\frac{dy}{d\theta} = -\frac{u^2}{g} \cdot \frac{\operatorname{tg}\theta}{\cos^2\theta}.$$

Допустим, что атмосфера вдоль траектории однородна, т. е. положим

$$H(y) = \text{const} = \frac{\Pi_{cp}}{\Pi_{0N}} = H(y_{cp}).$$

Затем заменим действительный закон сопротивления воздуха $F(v)$ зависимостью

$$F(v) = Bv^2.$$

В этом случае уравнение годографа напишется так:

$$\frac{du}{d\theta} = \frac{c}{g} \cdot \frac{\Pi_{cp}}{\Pi_{0N}} Bv^3.$$

Обозначая через

$$b = c\,\frac{\Pi_{cp}}{\Pi_{0N}} B$$

и имея в виду, что $u = v\cos\theta$, найдем:

$$\frac{du}{d\theta} = \frac{b}{g} \cdot \frac{u^3}{\cos^3\theta},$$

или

$$\frac{du}{u^3} = \frac{b}{g} \cdot \frac{d\theta}{\cos^3\theta}.$$

Таким образом, переменные в уравнении годографа отделены. Интегрируя полученное равенство от точки вылета до произвольной точки траектории, найдем:

$$\int_{u_0}^{u} \frac{du}{u^3} = \frac{b}{g} \int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{\cos^3 \theta}.$$

Обозначим

$$\xi(\theta) = \int_0^{\theta} \frac{d\theta}{\cos^3 \theta} = \frac{1}{2}\left[\frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} + \ln \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\theta}{2}\right)\right],^*$$

в этом случае

$$\frac{1}{u^2} = \frac{1}{u_0^2} - \frac{2b}{g}\left[\xi(\theta) - \xi(\theta_0)\right] = \frac{2b}{g}\left[\frac{g}{2bu_0^2} + \xi(\theta_0) - \xi(\theta)\right].$$

Обозначая теперь постоянную величину, зависящую от начальных условий:

$$\xi(\theta_A) = \frac{g}{2bu_0^2} + \xi(\theta_0),$$

будем иметь окончательно:

$$\frac{1}{u^2} = \frac{2b}{g}\left[\xi(\theta_A) - \xi(\theta)\right].$$

Итак, в результате интегрирования получена зависимость вида $u = f(\theta)$, т. е. для каждой точки траектории, заданной углом θ, можем определить значение горизонтальной проекции скорости u. Значение скорости найдется непосредственно из выражения $v = \frac{u}{\cos \theta}$.

Для определения элементов траектории x, t и y подставим в остальные диференциальные уравнения по аргументу θ значение $u = f(\theta)$.

В этом случае будем иметь:

$$dx = -\frac{1}{2b} \cdot \frac{d\theta}{\left[\xi(\theta_A) - \xi(\theta)\right] \cos^2 \theta};$$

$$dt = -\frac{1}{\sqrt{2bg}} \cdot \frac{d\theta}{\sqrt{\xi(\theta_A) - \xi(\theta)} \cdot \cos^2 \theta};$$

$$dy = -\frac{1}{2b} \cdot \frac{\operatorname{tg} \theta \, d\theta}{\left[\xi(\theta_A) - \xi(\theta)\right] \cos^2 \theta}.$$

Интегрируя в соответствующих пределах, переменив пределы в правых частях равенства и изменив соответственно знак, получим:

$$x = \frac{1}{2b} \int_{\theta}^{\theta_0} \frac{d\theta}{\left[\xi(\theta_A) - \xi(\theta)\right] \cos^2 \theta};$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{2bg}} \int_{\theta}^{\theta_0} \frac{d\theta}{\sqrt{\xi(\theta_A) - \xi(\theta)} \cdot \cos^2 \theta};$$

$$y = \frac{1}{2b} \int_{\theta}^{\theta_0} \frac{\operatorname{tg} \theta \cdot d\theta}{\left[\xi(\theta_A) - \xi(\theta)\right] \cos^2 \theta}.$$

Эти интегралы не могут быть взяты в конечном виде, но могут быть вычислены с требуемой степенью точности одним из методов вычисления квадратур.

---

* Для функции $\xi(\theta)$ составлены таблицы.

Таблицы Отто-Сиаччи. При практических расчетах прибегать к вычислению квадратуры не приходится. Все вычисления производятся просто и быстро при помощи таблиц Отто-Сиаччи. Таблицы дают (для различных значений θ_0 от 15° до 75° при входном числе $2bx$) значения величин:

$$\frac{bv_0^2}{g},\quad \frac{v_0^2}{2gx},\quad |\theta_c|,\quad \frac{v_c}{v_0},\quad \frac{T\sqrt{g}}{\sqrt{x}}\ \text{и}\ \frac{y}{x},$$

зная которые, легко найти интересующие нас элементы точки падения и высоту траектории.

В таблицы входит коэфициент b, играющий роль видоизмененного балистического коэфициента

$$b = cH(y_{ср})B.$$

Для закона сопротивления воздуха Сиаччи и для скоростей $v < 240$ *м/сек* значение коэфициента B в выражении

$$F(v) = Bv^2$$

можно принять равным $[\bar{4},0832]$. Соответственно этому получим:

$$b = [\bar{4},0832]\, cH(y_{ср}).$$

Считая, как и в параболической теории, $y_{ср} = \frac{2}{3}y$, получим:

$$H(y_{ср}) = H\left(\frac{2}{3}y\right).$$

Следовательно, для того чтобы найти значение b, нужно знать высоту траектории, которая, однако, к началу расчета неизвестна. Для определения b пользуются методом сближений. Принимают сначала $H(y_{ср}) = 1$ и определяют приближенное значение

$$b_1 = [\bar{4},0832]\ c = [\bar{1},0832]\ i\frac{d^2}{q}\cdot\frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}}.$$

По найденному значению b_1 определяют приближенное значение y_1 и $y_{ср} = \frac{2}{3}y_1$ и затем снова определяют коэфициент $b = b_1 H(y_{ср})$, пользуясь которым, и рассчитывают элементы траектории.

Как это следует из основных допущений, принятых при интегрировании уравнения годографа, таблицы Отто-Сиаччи могут применяться и при больших углах бросания, так как в отношении углов бросания не вводилось ограничительных условий. Принятие же квадратичного закона сопротивления воздуха приводит к тому, что таблицы Отто-Сиаччи могут применяться в тех случаях, когда скорости снаряда не превышают 240 *м/сек*[1].

5. Решение основной задачи внешней балистики по методу Сиаччи

При решении основной задачи внешней балистики Сиаччи принимает допущение, что плотность воздуха на всем протяжении траектории остается одинаковой и равной плотности в точке вылета, т. е.

$$\Pi_{ср} = \Pi_0,\ H(y) = \frac{\Pi}{\Pi_0} = 1,$$

откуда

$$j = cF(v),$$

---

[1] Детальный ход расчета по таблицам Отто-Сиаччи можно найти в курсе проф. Д. А. Вентцеля и Я. М. Шапиро „Внешняя балистика" (часть I, стр. 107—112). Таблицы Отто-Сиаччи помещены в этом же курсе (часть III, таблица 20, стр. 60—71).

и уравнение годографа примет вид:

$$\frac{du}{d\theta} = \frac{c}{g} \cdot \frac{u}{\cos\theta} F\left(\frac{u}{\cos\theta}\right). \tag{8}$$

Подстановка Сиаччи. Для отделения переменных в уравнении (8) Сиаччи принял следующее приближенное равенство:

$$F\left(\frac{u}{\cos\theta}\right) \approx F\left(\frac{v\cos\theta}{\cos\theta_0}\right)\frac{\cos^2\theta_0}{\cos\theta}. \tag{9}$$

Такая замена $F(v)$ приближенным равенством приводит к тому, что значение функции на большем участке траектории получается преувеличенным. Для учета этого обстоятельства Сиаччи ввел компенсирующий множитель $\frac{\cos^2\theta_0}{\cos\theta}$, который для большей части траектории всегда будет меньше единицы.

Вводя обозначение

$$U = \frac{v\cos\theta}{\cos\theta_0},$$

будем иметь:

$$u = U\cos\theta_0;$$

$$v_0 = U_0.$$

Величина U носит название псевдоскорости.

6. Интегрирование уравнения годографа

Введя подстановку Сиаччи в уравнение годографа, напишем его в следующем виде:

$$\frac{d(U\cos\theta_0)}{d\theta} = \frac{c}{g} \cdot \frac{U\cos\theta_0}{\cos\theta} F(U)\frac{\cos^2\theta_0}{\cos\theta}. \tag{10}$$

После отделения переменных будем иметь:

$$\frac{d\theta}{\cos^2\theta} = \frac{g}{c} \cdot \frac{1}{\cos^2\theta_0} \cdot \frac{dU}{UF(U)}. \tag{11}$$

Таким образом, ценой понижения точности самого уравнения годографа переменные в уравнении годографа отделены. Интегрируя уравнение (11) в пределах от точки вылета до произвольной точки траектории, будем иметь:

$$\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\theta_0 + \frac{g}{c} \cdot \frac{1}{\cos^2\theta_0} \int_{U_0}^{U} \frac{dU}{UF(U)}. \tag{12}$$

Составим функцию

$$I(U) = A - \int_B^U \frac{2gdU}{UF(U)},$$

где A и B — произвольные постоянные числа.

В этом случае из равенства (12) получим:

$$\operatorname{tg}\theta = \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{1}{2c\cos^2\theta_0}[I(U) - I(U_0)], \tag{13}$$

так как

$$I(U) - I(U_0) = A - \int_B^U \frac{2gdU}{UF(U)} - \left(A - \int_B^{V_0} \frac{2gdU}{UF(U)}\right) = -\int_{V_0}^U \frac{2gdU}{UF(U)}.$$

Функция $I(U)$, как и ряд других функций, которыми дальше будем пользоваться, введены Сиаччи. Им же впервые для этих функций составлены таблицы[1].

В функции $I(U)$ постоянная A принята равной 0,1000. Значение постоянной B для всех функций принято 1 500.

Равенство (13) дает нам зависимость вида

$$\theta = f(U).$$

Остальные элементы траектории также найдем в функции от U.

7. Определение элементов x, t и y

Из таблицы 40 возьмем второе уравнение из системы по аргументу θ и представим его в следующем виде:

$$dx = -\frac{u^2}{g} \cdot \frac{d\theta}{\cos^2 \theta}. \tag{14}$$

Заменяя u его значением через псевдоскорость и имея в виду уравнение (11), найдем:

$$dx = -\frac{1}{c} \cdot \frac{UdU}{F(U)}. \tag{15}$$

Интегрируя полученное уравнение в пределах от точки вылета до некоторой произвольной точки траектории, будем иметь:

$$x = -\frac{1}{c} \int_{v_0}^{U} \frac{UdU}{F(U)}.$$

Составив функцию

$$D(U) = 1000 - \int_{1500}^{U} \frac{UdU}{F(U)},$$

найдем, что

$$x = \frac{1}{c} [D(U) - D(v_0)]. \tag{16}$$

Подобным же образом из третьего уравнения таблицы 40 системы по аргументу θ получим:

$$dt = -\frac{u}{g} \cdot \frac{d\theta}{\cos^2 \theta}. \tag{17}$$

Заменяя u его значением через псевдоскорость и имея в виду зависимость (11), найдем:

$$dt = -\frac{1}{c \cos \theta_0} \cdot \frac{dU}{F(U)}. \tag{18}$$

Интегрируя полученное уравнение в пределах от точки вылета до некоторой произвольной точки траектории, получим:

$$t = -\frac{1}{c \cos \theta_0} \int_{V_0}^{U} \frac{dU}{F(U)}.$$

Составив функцию

$$T(U) = 1{,}00 - \int_{1500}^{U} \frac{dU}{F(U)},$$

будем иметь:

$$t = \frac{1}{c \cos \theta_0} [T(U) - T(v_0)]. \tag{19}$$

[1] Таблицы эти можно найти, например, в курсе проф. Д. А. Вентцеля и Я. М. Шапиро „Внешняя балистика" (таблица 21, стр. 72 — 116).

Для определения ординаты траектории y воспользуемся следующим очевидным равенством:

$$dy = \operatorname{tg}\theta \cdot dx. \tag{20}$$

Подставляя вместо $\operatorname{tg}\theta$ его значение из равенства (12), получим:

$$dy = \operatorname{tg}\theta_0 \cdot dx - \frac{1}{2c\cos^2\theta_0}[I(U) - I(v_0)]\,dx.$$

Интегрируя полученное уравнение в соответствующих пределах, найдем:

$$y = x\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{1}{2c\cos^2\theta_0}\left[\int_0^x I(U)\,dx - I(v_0)\,x\right].$$

Подставляя вместо dx его значение из уравнения (15), будем иметь:

$$y = x\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{1}{2c\cos^2\theta_0}\left[\frac{1}{c}\int_0^x \frac{UI(U)\,dU}{F(U)} - I(v_0)\,x\right]. \tag{21}$$

Составим функцию

$$A(U) = 100 - \int_{1500}^{U} \frac{UI(U)\,dU}{F(U)}.$$

В этом случае уравнение (21) примет вид:

$$y = x\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{x}{2c\cos^2\theta_0}\left\{\frac{A(U) - A(v_0)}{cx} - I(v_0)\right\},$$

или, имея в виду уравнение (16):

$$y = x\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{x}{2c\cos^2\theta_0}\left\{\frac{A(U) - A(v_0)}{D(U) - D(v_0)} - I(v_0)\right\}. \tag{22}$$

Зависимости (13), (16), (19) и (22) дают нам элементы любой точки траектории θ, x, t и y в функции псевдоскорости U.

Входящие в эти зависимости функции $I(U)$; $D(U)$; $T(U)$ и $A(U)$ введены Сиаччи. Для них составлены таблицы, носящие название „основные функции Сиаччи".

Таким образом, всякая точка траектории должна быть задана элементом U.

Для вычисления траектории необходимо начинать с величины $U_0 = v_0$, задаваться рядом значений $U < U_0$ и для них вычислять соответствующие значения θ, x, t и y.

Произведя расчет таким путем, мы найдем вершину траектории, характеризующуюся элементом $\theta = 0$, и точку падения, характеризующуюся элементом $y = 0$.

Для элементов точки падения и вершины траектории как имеющих важное практическое значение выводятся специальные зависимости.

8. Элементы траектории в точке падения

Точка падения характеризуется следующими элементами:

$$y = 0;\ x = X;\ t = T;\ \theta = \theta_c \text{ и } U = U_c.$$

Так как в уравнениях, определяющих элементы траектории, за независимую переменную принята псевдоскорость U, то для точки падения нам необходимо знать значение U_c.

Уравнение (22) для точки падения напишется так:

$$0 = x\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{x}{2c\cos^2\vartheta_0}\left[\frac{A(U_c) - A(v_0)}{D(U_c) - D(v_0)} - I(v_0)\right],$$

откуда

$$\operatorname{tg}\theta_0 = \frac{1}{2c\cos^2\theta_0}\left[\frac{A(U_c)-A(v_0)}{D(U_c)-D(v_0)} - I(v_0)\right], \tag{23}$$

или

$$\sin 2\theta_0 = \frac{1}{c}\left[\frac{A(U_c)-A(v_0)}{D(U_c)-D(v_0)} - I(v_0)\right]. \tag{24}$$

Так как в уравнении (24) величины θ_0, c и v_0 нам известны, то, следовательно, отсюда может быть определено U_c.

Заметим, что уравнение (24) относительно U_c не решается; поэтому его придется определять рядом последовательных приближений, подбирая такие значения для U_c, чтобы правая часть равенства равнялась $\sin 2\theta_0$.

Определив U_c, найдем остальные элементы точки падения.

$$X = \frac{1}{c}[D(U_c) - D(v_0)]; \tag{25}$$

$$T = \frac{1}{c\cos\theta_0}[T(U_c) - T(v_0)]; \tag{26}$$

$$\operatorname{tg}\theta_c = \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{1}{2c\cos^2\theta_0}[I(U_c) - I(v_0)], \tag{27}$$

или подставляя вместо $\operatorname{tg}\theta_0$ его значение из уравнения (23):

$$\operatorname{tg}\theta_c = \frac{1}{2c\cos^2\theta_0}\left[\frac{A(U_c)-A(v_0)}{D(U_c)-D(v_0)} - I(v_c)\right]; \tag{28}$$

$$v_c = \frac{U_c\cos\theta_0}{\cos\theta_c}. \tag{29}$$

9. Элементы вершины траектории

Вершина траектории характеризуется следующими элементами:

$$y = Y;\ x = x_s;\ t = t_s;\ \theta = \theta_s = 0;\ v = v_s = U_s.$$

В этом случае уравнение (13) напишется так:

$$0 = \operatorname{tg}\theta_0 - \frac{1}{2c\cos^2\theta_0}[I(U_s) - I(v_0)], \tag{30}$$

откуда

$$\sin 2\theta_0 = \frac{1}{c}[I(U_s) - I(v_0)]. \tag{31}$$

Следовательно,

$$I(U_s) = c\sin 2\theta_0 + I(v_0). \tag{32}$$

По величине функции $I(U_s)$ можно найти U_s; $D(U_s)$; $T(U_s)$ и $A(U_s)$, а следовательно, и элементы вершины, для чего надо воспользоваться следующими зависимостями:

$$x_s = \frac{1}{c}[D(U_s) - D(v_0)]; \tag{33}$$

$$t_s = \frac{1}{c\cos\theta_0}[T(U_s) - T(v_0)]; \tag{34}$$

$$Y = x_s\operatorname{tg}\theta_0 - \frac{x_s}{2c\cos^2\theta_0}\left[\frac{A(U_s)-A(v_0)}{D(U_s)-D(v_0)} - I(v_0)\right]. \tag{35}$$

Подставляя вместо $\operatorname{tg}\theta_0$ его значение, определенное из (30), будем иметь:

$$Y = \frac{x_s}{2c\cos^2\theta_0}\left[I(U_s) - \frac{A(U_s)-A(v_0)}{D(U_s)-D(v_0)}\right]; \tag{36}$$

$$v_s = U_s\cos\theta_0 = U_s.$$

10. Применение метода Сиаччи для навесной стрельбы. „β Сиаччи"

Изложенный выше метод Сиаччи основан на допущении, что $\cos\theta$ мало изменяется вдоль траектории и что отношение $\frac{\Pi_{ср}}{\Pi_0} = 1$.

Таким образом, выведенные формулы для элементов траектории пригодны только для прицельной стрельбы. Прицельной траекторией для артиллерийских систем принято считать траекторию при углах бросания $\theta_0 < 15°$ и для образцов стрелкового оружия при $\theta_0 < 8°$.

Желая применить свой метод и для случая стрельбы при больших углах бросания (навесная стрельба), Сиаччи для компенсации ошибки, получающейся при этом, ввел коэфициент β. Этот коэфициент называется „β Сиаччи".

После введения коэфициента β подстановка Сиаччи приобретает вид:

$$H(y)F(v) = \beta F(v)\frac{\cos^2\theta_0}{\cos\theta}. \tag{37}$$

Из этого уравнения непосредственно вытекает, что коэфициент β должен компенсировать не только ошибки от замены $F(v)$ приближенным значением $F(U)\frac{\cos^2\theta_0}{\cos\theta}$, но и ошибки от допущения $H(y) = 1$.

Имея в виду подстановку (37), уравнение годографа напишем так:

$$\frac{d\theta}{\cos^2\theta} = \frac{g}{c\beta\cos^2\theta_0}\cdot\frac{dU}{UF(U)}. \tag{38}$$

Так как коэфициент β входит вместе с балистическим коэфициентом, то нет надобности выводить заново формулы Сиаччи.

Необходимо в формулах, ранее выведенных, заменить балистический коэфициент c приведенным балистическим коэфициентом

$$c' = \beta c = \beta\frac{d^2i}{q}\cdot\frac{\Pi_0}{\Pi_{(N}}\,1000. \tag{39}$$

Для определения значений коэфициента β можно пользоваться таблицей Бруно, определяющей β как функцию трех переменных c, θ_0 и x.

Лучше и удобнее пользоваться таблицей значений β, данной в курсе проф. Д. А. Вентцеля и Я. М. Шапиро „Внешняя балистика", часть III, таблицы 31 и 30.

11. Вспомогательные функции Сиаччи

Функция f_0

Рассматривая уравнение (24):

$$\sin 2\theta_0 = \frac{1}{c}\left[\frac{A(U_c)-A(v_0)}{D(U_c)-D(v_0)} - I(v_0)\right],$$

замечаем, что выражение в прямых скобках зависит от U_c и v_0.

В свою очередь U_c, как это следует из уравнения (25)

$$X = \frac{1}{c}\left[D(U_c) - D(v_0)\right]$$

или

$$D(U_c) = cX + D(v_0),$$

зависит от cX и v_0.

Таким образом, для выражения

$$\left[\frac{A(U_c)-A(v_0)}{D(U_c)-D(v_0)}-I(v_0)\right]$$

может быть составлена таблица о двух входах cX и v_0.

Обозначая

$$\left[\frac{A(U_c)-A(v_0)}{D(U_c)-D(v_0)}-I(v_0)\right]=f_0(cX;v_0),$$

будем иметь:

$$\sin 2\theta_0=\frac{1}{c}f_0(cX;\ v_0),$$

или

$$f_0=c\sin 2\theta_0. \tag{40}$$

Подобным же образом можно составить таблицы для ряда других вспомогательных функций Сиаччи:

$$f_1=\frac{v_0^2\sin 2\theta_0}{X}; \tag{41}$$

$$f_2=\frac{\operatorname{tg}|\theta_c|}{\operatorname{tg}\theta_0}; \tag{42}$$

$$f_3=\frac{v_0\sin\theta_0}{T}; \tag{43}$$

$$f_4=\frac{u_0}{u_c}=\frac{v_0}{U_c}; \tag{44}$$

$$f_5=\frac{x_s}{X}; \tag{45}$$

$$f_6=\frac{Y}{X\operatorname{tg}\theta_0}. \tag{46}$$

Таблицы f_0-f_6 даны в части III названного выше курса „Внешняя балистика".

Как это очевидно по самой структуре вспомогательных функций,

f_6 предназначается для определения Y;
f_5 „ „ „ x_s;
f_4 „ „ „ v_c;
f_3 „ „ „ T;
f_2 „ „ „ θ_c;
f_1 и f_0 — для определения X, i, v_0 и θ_0.

Зная три из последних указанных четырех величин, в зависимости от условия задачи, пользуясь таблицей f_0 или f_1, можно найти четвертую величину.

Следует заметить, что при решении основной задачи внешней балистики с учетом „β Сиаччи" во всех расчетных формулах балистический коэфициент заменяется приведенным балистическим коэфициентом $c'=c\beta$. Так например, вспомогательные функции Сиаччи вычислены с учетом „β Сиаччи", а потому в них вместо c везде стоит c'

Решение основной задачи внешней балистики помощью вспомогательных функций сокращает время, по сравнению с решением этой же задачи по основным функциям Сиаччи, в несколько раз.

Для некоторых же расчетных операций, как например, при определении c', время, потребное на расчет, сокращается во много раз.

Следует отметить, что дальность X, найденная по вспомогательным функциям Сиаччи, отличается от дальности, полученной по основным функциям Сиаччи, как правило, на единицы метров. Лишь в некоторых случаях эта разница достигает десятков метров.

Отсюда понятно то широкое распространение, которое получили вспомогательные функции Сиаччи.

Детальный ход расчета элементов траектории как по основным, так и по вспомогательным функциям можно найти в названном курсе „Внешняя балистика“ (стр. 127—144).

ГЛАВА V

ТАБЛИЧНЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ОСНОВНОЙ ЗАДАЧИ И ПОПРАВОЧНЫЕ ФОРМУЛЫ

1. Балистические таблицы АНИИ

Элементы траектории полностью определяются, если заданы величины c, θ_0 и v_0. Таким образом, если задаться какой-либо из величин, например углом бросания θ_0, то для данного угла можно составить таблицу о двух входах c и v_0, содержащую любой из элементов траектории.

Такие таблицы для элементов X; Y; T; v_c; θ_c составлены и называются „Балистическими таблицами АНИИ“.

При решении задач по внешней балистике, связанных с зенитной стрельбой, составлены особые таблицы, в которых, кроме трех входов c, θ_0 и v_0, введен четвертый вход — время полета t.

В этих таблицах для постоянных θ_0 и v_0 даны значения горизонтальных дальностей, высот и скоростей в функции от c и t.

При расчете балистических таблиц АНИИ был принят закон изменения плотности с высотой, предложенный проф. Д. А. Вентцель, и „закон сопротивления воздуха 1930 г.“.

Следовательно, надо помнить, что при пользовании балистическими таблицами АНИИ в выражении для балистического коэфициента

$$c = \frac{d^2 i}{q} \cdot \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}} 1000$$

коэфициент формы i надо брать для „закона сопротивления 1930 г.“ [1].

Кроме балистических таблиц АНИИ, имеется „Балистический сборник Артиллерийской академии“ (издания 1939 г.). В этом сборнике даны следующие элементы траектории: X; T; θ_c; v_c и Y. Входными величинами здесь, так же как и в балистических таблицах АНИИ, являются c, v_0 и θ_0.

При пользовании балистическим сборником надо иметь в виду, что при его составлении пользовались законом сопротивления воздуха Сиаччи. Следовательно, при определении балистического коэфициента c значение коэфициента формы i надо брать для закона сопротивления воздуха Сиаччи.

---

[1] Таблицы состоят из четырех частей: часть I для начальных скоростей от 75 до 450 *м/сек*; часть II — от 450 до 1 080 *м/сек*; часть III — от 1 050 до 1 900 *м/сек*; часть IV — от 720 до 1 080 *м/сек*. Части III и IV таблиц АНИИ позволяют просто и быстро определять элементы для точки траектории.

2. Поправочные формулы

В артиллерийской практике часто необходимо знать изменение дальности в зависимости от изменившихся условий стрельбы.

Для этой цели очень удобно пользоваться таблицей поправочных коэфициентов Артиллерийской академии, помещенной в названном курсе „Внешняя балистика", часть III, стр. 159—167.

В этих таблицах даны величины поправочных коэфициентов, выражающих:

Q_τ — изменение дальности при изменении температуры на 1°;

Q_{v_0} — изменение дальности при изменении начальной скорости на 1 *м/сек*;

$Q_{\frac{\delta c}{c}}$ — изменение дальности при изменении балистического коэфициента на 1%;

Q_{wx} — изменение дальности при изменении скорости продольного ветра на 1 *м/сек*;

Q_{wz} — боковое отклонение снаряда при изменении скорости бокового ветра на 1 *м/сек*.

Величины поправочных коэфициентов Q сведены в таблицы о трех входах θ_0, v_0 и c.

Следовательно, для нахождения нужных величин поправочных коэфициентов, кроме известных v_0 и θ_0, надо уметь отыскать величину балистического коэфициента. Для этой цели надо знать дальность.

Обычно дальность для заданного снаряда бывает известна из таблиц стрельбы. В этом случае нет надобности находить величины поправочных коэфициентов из специальных таблиц, а для учета изменения дальности в связи с отклонением условий стрельбы от нормальных надо пользоваться поправочными графами таблиц стрельбы.

Если же таблицы стрельбы для интересующего нас снаряда не составлены, но имеются непосредственные данные опытных стрельб на дальность, то поступают так.

Прежде всего определяют приведенный балистический коэфициент c'.

Зная опытную дальность $X_{оп}$, v_0 и θ_0, по величине вспомогательной функции

$$f_1(c'x;\ v_0) = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{X}$$

и v_0 найдем $c'X$, а отсюда и c'.

Для того чтобы найти значение балистического коэфициента c, необходимо полученное значение c' разделить на величину β, определенную из таблицы 31 курса „Внешняя балистика"[1].

Полученное значение c позволяет определить по таблицам 33—37 величины Q_τ, Q_{v_0}, $Q_{\frac{\delta c}{c}}$, Q_{wx}, Q_{wz} и вычислить изменение дальности и направления в связи с изменившимися условиями стрельбы.

Напишем поправки с такими знаками, с какими их надо прибавить к опытной дальности, чтобы получить дальность, отвечающую нормальным условиям стрельбы.

1. Поправка в дальности на балистическое изменение температуры воздуха $\delta\tau$

$$\delta X_\tau = -Q_\tau \delta\tau.$$

2. Поправка в дальности на изменение начальной скорости δv_0

$$\delta X_{v_0} = -Q_{v_0}\delta v_0.$$

3. Поправка в дальности на изменение наземного давления δh_0

$$\delta X_{h_0} = Q_{\frac{\delta c}{c}} 100 \frac{\delta h_0}{h_0} = Q_{\frac{\delta c}{c}} 100 \frac{\delta h_0}{750} = Q_{\frac{\delta c}{c}} \frac{\delta h_0}{7{,}5}.$$

[1] При нахождении β вначале полагают $c = c'$.

4. Изменение веса снаряда при неизменном заряде влияет на изменение дальности двумя путями: в силу изменения балистического коэфициента и изменения начальной скорости вследствие изменения веса снаряда. Учитывая, что $\frac{\delta c}{c} = \frac{\delta q}{q}$ и что приближенно $\frac{\delta v_0}{v_0} = -0{,}4\frac{\delta q}{q}$, поправку в дальности на изменение веса снаряда при неизменном весе заряда напишем так:

$$\delta X_q = \left(100\, Q_{\frac{\delta c}{c}} - 0{,}4 v_0 Q_{v_0}\right)\frac{\delta q}{q}.$$

5. Поправка в дальности на изменение продольного ветра

$$\delta X_{w_x} = -Q_{w_x} w_x.$$

6. Поправка на боковое отклонение снаряда при боковом ветре

$$Z_{w_z} = -Q_{w_z} w_z.$$

Таким образом, приведенная к нормальным условиям дальность

$$X_{\text{прив}} = X_{\text{оп}} + \Sigma\delta X.$$

Вообще говоря, следовало бы по найденному $X_{\text{прив}}$ отыскать новое значение c' и вновь определить величины поправочных коэфициентов Q, пересчитать величину $\Sigma\delta X$ и исправить приведенную дальность. Однако, как показывает опыт, вторичный пересчет не сказывается ощутимо на величине $X_{\text{прив}}$.

ГЛАВА VI

ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ СНАРЯДА

1. Устойчивость снаряда

Условия устойчивости снаряда получаются в результате изучения движения снаряда как твердого тела.

В настоящее время изучение движения снаряда как твердого тела сводится к интегрированию трех диференциальных уравнений движения снаряда около центра массы.

Опыт показывает, что сила сопротивления воздуха приложена не в центре массы, как это было принято при решении основной задачи внешней балистики, а в так называемом центре сопротивления, расположенном между центром массы и вершиной снаряда. Направление же оси снаряда составляет с касательной к траектории некоторый угол δ. Угол этот для современных снарядов мал (рис. 63).

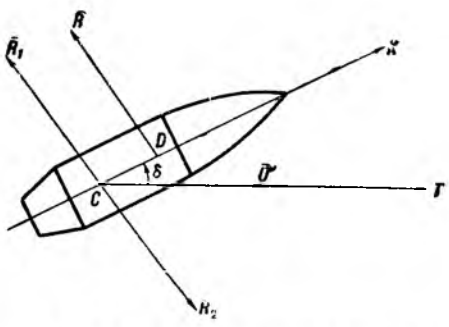


Рис. 63. Сила сопротивления воздуха

Приложим к центру массы силы R_1 и R_2, параллельные R, равные ей по величине и противоположно направленные. В результате этого силу сопротивления воздуха приведем к силе R_1, приложенной к центру массы снаряда, и паре сил, стремящихся опрокинуть снаряд и увеличить угол δ.

Пару сил (R, R_2) называют опрокидывающей парой. Момент опрокидывающей пары называется опрокидывающим моментом.

При вылете из канала ствола снаряд испытывает удары как со стороны стенок ствола, так и со стороны вырывающихся вслед за ним из

канала ствола орудия пороховых газов, скорость которых в первые моменты значительно превышает скорость снаряда. Эти удары и толчки стремятся повернуть снаряд относительно его экваториальной оси. Уменьшение ударов о стенки ствола достигается надежным центрованием снаряда в канале ствола. Очевидно, что стрельба продолговатыми невращающимися снарядами нецелесообразна, так как полет таких снарядов будет неправильным.

Чтобы парализовать опрокидывающее действие силы сопротивления воздуха и влияния ударов на начальном участке траектории, снаряду сообщают быстрое вращательное движение около его оси симметрии, так как известно, что тело, быстро вращающееся около своей оси, оказывает большое сопротивление силам, стремящимся изменить его положение относительно этой оси. Примером этому может служить обыкновенный волчок.

Способность снаряда сопротивляться внешним силам, стремящимся изменить положение его оси, будем называть гироскопической устойчивостью снаряда, а снаряд, обладающий ею, — гироскопически устойчивым снарядом. Кроме гироскопической устойчивости снаряда, как это будет показано ниже, следует различать устойчивость снаряда на криволинейной части траектории, которая находит свое выражение в способности снаряда следить за изменением направления касательной к траектории.

2. Гироскопическая устойчивость снаряда

Аналитическое исследование вращательного движения артиллерийского снаряда приводит к заключению, что для гироскопической устойчивости снаряда необходимо, чтобы коэфициент гироскопической устойчивости

$$\sigma = \sqrt{1 - \frac{\beta}{\alpha^2}}$$

выражался вещественным числом[1], т. е. чтобы

$$\sigma^2 \geqslant 0, \text{ или } \alpha^2 \geqslant \beta;$$

$$\alpha = \frac{Cr_0}{2A} = \frac{C}{A} \cdot \frac{\pi v_0}{\eta d};$$

$$\beta = \frac{d^2 h}{Ag} 1000\, i_M \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}} H(y)\, v^2 K_M(v);$$

$$C = \mu \frac{q}{g} \cdot \frac{d^2}{4};$$

$$M = A\beta\delta,$$

где C — осевой момент инерции;
r_0 — угловая скорость снаряда относительно его оси симметрии;
A — экваториальный момент инерции;
η — длина хода нарезов в калибрах;
μ — коэфициент инерции (для снарядов 0,56 ÷ 0,60, для пуль 0,45);
M — момент опрокидывающей пары;
i_M — коэфициент формы снаряда в выражении для опрокидывающего момента;
h — расстояние между центром массы снаряда и центром сопротивления;
$K_M(v)$ — функция сопротивления в выражении для момента опрокидывающей пары.

---

[1] Проф. Д. А. Вентцель и Я. М. Шапиро, Внешняя балистика, ч. II, стр. 165—168, а также проф. Б. Н. Окунев, Гироскопическая устойчивость и правильность полета артиллерийских снарядов, „Морской сборник", 1936.

Приведенные неравенства выражают условие гироскопической устойчивости снаряда. Величины α и β положительны; следовательно, коэфициент гироскопической устойчивости может иметь значение от нуля до единицы:

$$0 \leqslant \sigma \leqslant 1.$$

При $\sigma = 1$ снаряд обладает полной гироскопической устойчивостью, т. е. ось его будет оставаться параллельной своему первоначальному положению во все время полета (рис. 64).

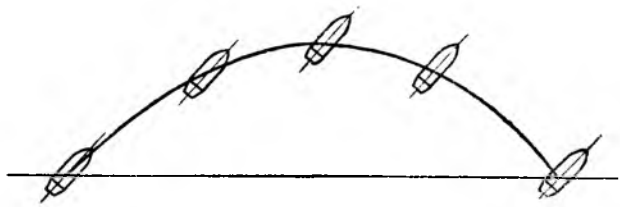


Рис. 64. Полет снаряда, обладающего полной гироскопической устойчивостью

При $\sigma = 0$ снаряд находится на нижнем пределе гироскопической устойчивости, и при $\sigma < 0$ снаряд гироскопически неустойчив.

Подставляя вместо α и β их значения, получим следующее выражение для гироскопической устойчивости снаряда:

$$\sigma = \sqrt{1 - \frac{1}{C_q \mu} \eta^2 \frac{A}{C} \cdot \frac{h}{d} \cdot \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}} H(y) \frac{v^2}{v_0^2} \cdot \frac{4}{\pi^2} K_M(v)}.$$

Здесь, как и в дальнейшем изложении, величина i_M принята равной единице, так как опытное значение этой величины для наших снарядов неизвестно.

Величина h определяется по формуле

$$\frac{h}{d} = \frac{h_1}{d} + 0{,}56 \frac{H}{d} - 0{,}16,$$

или по формуле

$$\frac{h}{d} = \frac{h_1}{d} + 0{,}5 \cdot \frac{H}{d}.$$

Через h_1 обозначено расстояние центра массы снаряда от основания оживала, а через H — высота оживала (рис. 65).

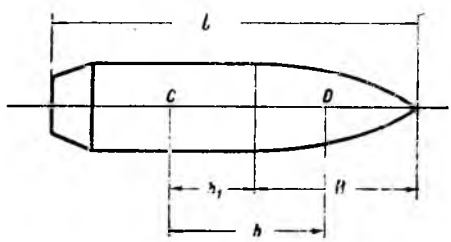


Рис. 65. Некоторые размеры снаряда

Из формулы для σ вытекает, что гироскопическая устойчивость снаряда увеличивается:

1) с увеличением коэфициента веса c_q;

2) с увеличением коэфициента инерции μ;

3) с уменьшением длины хода нарезов η;

4) с уменьшением отношения $\frac{A}{C}$;

5) с уменьшением расстояния между центром массы снаряда и центром сопротивления, выраженного в калибрах, $\frac{h}{d}$;

6) с уменьшением функции $H(y)$;

7) с уменьшением плотности воздуха в точке вылета Π_0;

8) с уменьшением отношения $\frac{v}{v_0}$;

9) с уменьшением функции $K_M(v)$.

Наименьшая величина гироскопической устойчивости для данного снаряда будет в точке вылета, где v и $H(y)$ будут иметь наибольшие значения. Начиная со скорости 350 *м/сек* и выше, значение функции $K_M(v)$, как это следует из таблицы 42, изменяется очень мало.

Таблица 42

Значения функции $K_M(v)$

м/сек	$10^3 K_M(v)$	*м/сек*	$10^3 K_M(v)$	*м/сек*	$10^3 K_M(v)$
0—200	0,97	400	1,39	750	1,33
250	1,00	450	1,39	800	1,32
275	1,05	500	1,38	850	1,31
300	1,13	550	1,37	900	1,31
325	1,24	600	1,35	950	1,31
350	1,32	650	1,34	1 000	1,30
375	1,36	700	1,33	1 050	1,30
400	1,39	750	1,33	1 100	1,30

Следовательно, гироскопическую устойчивость снаряда следует определять в точке вылета. В этом случае $v = v_0$, $H(y) = 1$; отношение $\frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}}$ для земли также можно принять равным единице.

Тогда выражение для коэфициента гироскопической устойчивости в точке вылета примет вид:

$$\sigma_0 = \sqrt{1 - \frac{1}{C_q \mu} \eta^2 \frac{A}{C} \cdot \frac{h}{d} \cdot \frac{4}{\pi^2} K_M(v_0)}.$$

3. Крутизна нарезов

Определим теперь крутизну нарезов, обеспечивающую снаряду гироскопическую устойчивость.

Из условия гироскопической устойчивости в точке вылета

$$\sigma_0^2 \geqslant 0$$

найдем, что

$$\eta_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{C_q \mu \frac{C}{A}}{\frac{h}{d} K_M(v_0)}}.$$

Полученное равенство дает нам указание на наибольшую длину хода нарезов, при которой снаряд еще будет сохранять гироскопическую устойчивость.

Для того чтобы иметь желаемый запас гироскопической устойчивости, следует длину хода нарезов уменьшить против предельной расчетной, т. е. увеличить крутизну нарезов.

Для этой цели в формулу для определения длины хода нарезов необходимо ввести коэфициент $a < 1$.

В этом случае будем иметь:

$$\eta = a\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{C_q\,\mu\,\frac{c}{A}}{\frac{h}{d}K_M(v_0)}}\,.$$

Коэфициент a можно определить следующим путем. Полагая $a=1$, вычисляют длину хода нарезов ($\eta_{a=1}$) для определенного снаряда и начальной скорости и сравнивают ее с η существующего орудия, дающего хорошую кучность боя данным снарядом на все дальности.

Тогда

$$a = \frac{\eta}{\eta_{a=1}}\,.$$

Значение a можно принять равным 0,75.

4. Правильность полета снаряда

Под правильностью полета вращающегося снаряда в воздухе понимают такое его движение, когда ось снаряда следит за изменением направления касательной к траектории, а следовательно, угол δ во все время движения сохраняет малую величину.

При рассмотрении вопроса о правильности полета снаряда прежде всего надо ясно себе представить роль и значение опрокидывающей пары сопротивления воздуха.

Предположим, что имеем снаряд, центр массы которого совпадает с центром сопротивления, т. е. $h=0$.

В этом случае

$$M = \beta A\delta = 0.$$

Следовательно, коэфициент гироскопической устойчивости равен единице, т. е. ось снаряда будет сохранять положение, параллельное первоначальному, на протяжении всей траектории, как это показано на рис. 64.

Совершенно ясно, что такой полет снаряда невыгоден.

Посмотрим, как ведет себя гироскопически устойчивый снаряд в случае наличия опрокидывающей пары.

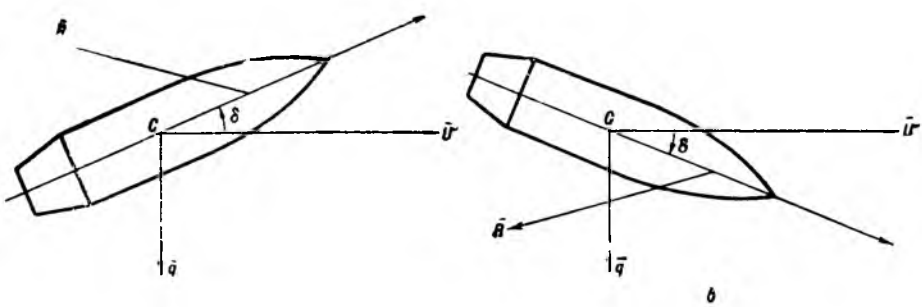


Рис. 66. Действие опрокидывающей пары

Для этого вспомним главное свойство гироскопа, которое заключается в том, что при действии на гироскоп силы, стремящейся изменить положение его оси, ось гироскопа отклоняется не по направлению действия этой силы, а по направлению, перпендикулярному плоскости, проходящей через данную силу и центр массы гироскопа.

Применим это правило к гироскопически устойчивому снаряду, причем для простоты рассуждения предположим, что центр массы снаряда движется прямолинейно.

В каждый момент времени сила сопротивления воздуха будет стремиться повернуть снаряд в плоскости действия опрокидывающей пары и увеличить, таким образом, угол δ.

Вследствие гироскопической устойчивости ось снаряда будет отклоняться по направлению, перпендикулярному плоскости действия опрокидывающей пары. Таким образом, плоскость действия опрокидывающей пары, или, как ее принято называть, плоскость сопротивления, проходящая через ось снаряда и касательную к траектории, повернется на некоторый угол около касательной (рис. 67).

В следующий момент времени под влиянием силы сопротивления воздуха ось вращающегося снаряда опять отклонится по направлению, перпендикулярному новому положению плоскости сопротивления, которая снова повернется на некоторый угол около касательной, и т. д.

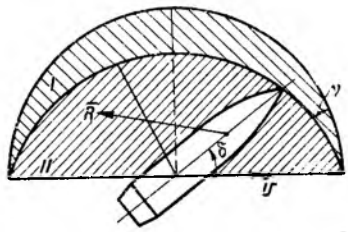


Рис. 67. Положение плоскости сопротивления

Таким образом, в результате действия опрокидывающей пары сопротивления воздуха плоскость сопротивления будет вращаться около касательной к траектории, а ось снаряда будет совершать вокруг этой же касательной коническое движение, причем угол δ будет сохранять почти постоянную величину (рис. 68).

Следовательно, та же самая опрокидывающая пара, которая для невращающегося снаряда была фактором вредным, для вращающегося снаряда оказывается полезной. Стремясь опрокинуть снаряд, опрокидывающая пара как бы привязывает его ось к касательной, заставляя снаряд лететь головой вперед.

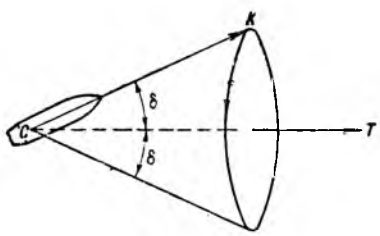


Рис. 68.

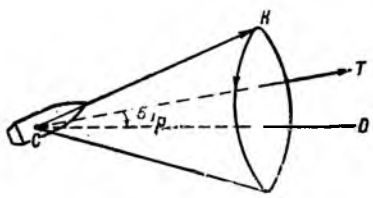


Рис. 69. Положение динамической оси

Все эти рассуждения относятся к случаю прямолинейной траектории центра массы снаряда. При криволинейной траектории картина получается несколько иной. Разница заключается в том, что коническое движение оси снаряда будет происходить не вокруг касательной, а около так называемой динамической оси, которая при принятой у нас нарезке слева вверх направо уклоняется несколько вправо и вверх от касательной, если смотреть по направлению движения снаряда.

Угол, который динамическая ось составляет с касательной, обозначается δ_{1p} (рис. 69).

При аналитическом исследовании вращательного движения снаряда для угла δ_{1p} выводится следующая зависимость:

$$\delta_{1p} = 2\frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{g\cos\theta}{v^2},$$

или после подстановки вместо α и β их значений:

$$\delta_{1p} = \frac{\pi g}{2} \cdot \frac{\mu C_q v_0 d}{\eta \frac{h}{d} \cdot \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}}} \cdot \frac{\cos\theta}{v^3 H(y) K_M(v)}.$$

Рассматривая это выражение, видим, что для снаряда, начавшего движение при определенных начальных условиях, величина δ_{1p} будет изменяться по мере движения центра массы по траектории, т. е. по мере изменения элементов траектории θ, v и y, входящих в переменный множитель

$$\frac{\cos\theta}{H(y)\,v^3\,K_M(v)}.$$

На восходящей ветви траектории $\cos\theta$ увеличивается, а v и $H(y)$ уменьшаются; следовательно, угол δ_{1p} будет увеличиваться.

На нисходящей ветви $\cos\theta$ уменьшается, $H(y)$ увеличивается, а v сначала уменьшается, достигает минимума, а потом увеличивается.

Таким образом, уменьшение угла δ_{1p} будет иметь место после перехода v через минимум. На участке между вершиной траектории и точкой, отвечающей наименьшей скорости, угол δ_{1p} будет иметь наибольшее значение.

Приближенно можно принять, что наиболее трудные условия полета снаряда будут отвечать вершине траектории.

В этом случае

$$\delta_{1p_s} = \frac{\pi g}{2} \cdot \frac{\mu C_q v_0 d}{\eta \frac{h}{d} \cdot \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}}} \cdot \frac{1}{H(y)\,v_s^3\,K_M(v_s)}.$$

Теперь рассмотрим зависимость величины δ_{1p} от конструктивных данных снаряда и орудия, выражающуюся произведением

$$\frac{\mu C_q v_0 d}{\eta \frac{h}{d}}.$$

Необходимо иметь в виду, что желательны возможно меньшие значения δ_{1p}.

С этой точки зрения следует:

1) уменьшать коэфициент инерции μ;
2) уменьшать коэфициент веса C_q;
3) уменьшать калибр снаряда d;
4) увеличивать длину хода нарезов (в калибрах) η;
5) увеличивать расстояние между центром массы и центром сопротивления.

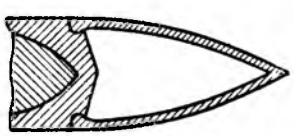


Рис. 70. Балистический наконечник

Сравнивая эти рассуждения с выводами, к которым мы пришли при анализе формулы для коэфициента гироскопической устойчивости, видим, что для правильности полета снаряда по криволинейной траектории полезным оказывается все то, что ухудшает его гироскопическую устойчивость.

Как улучшить снаряд в том случае, если обнаружено, что он недостаточно правильно летит по криволинейной траектории?

Величины d и η, конечно, изменены быть не могут; величины μ, C_q могут быть изменены в сравнительно узких пределах. Остается величина $\frac{h}{d}$, которую можно значительно изменить без заметного увеличения C_q и μ при помощи навинчивания балистического наконечника (рис. 70).

Что касается начальной скорости v_0, которая входит в числитель выражения для δ_{1p}, то надо иметь в виду, что ее увеличение обязательно повлечет за собой увеличение множителя $v^3K_M(v)$, находящегося в знаменателе, который будет иметь большее влияние на величину δ_{1p}, чем v_0. Значит, увеличение начальной скорости будет увеличивать угол δ_{1p}.

Надо отметить, что при наших рассуждениях мы базировались на зависимостях, даваемых аналитическим решением задачи о вращательном движении снаряда, которое основывается на допущении о постоянстве угловой скорости собственного вращения снаряда в течение всего времени полета и малости угла δ. В действительности угловая скорость собственного вращения снаряда по мере движения его по траектории уменьшается вследствие действия силы трения воздуха, что будет способствовать уменьшению угла δ_{1p}.

5. Одновременное рассмотрение гироскопической устойчивости и правильности полета снаряда

Основной задачей при проектировании артиллерийских снарядов и стволов является обеспечение снаряду правильности полета при всех возможных для данной системы углах бросания и начальных скоростях.

Для этого, во-первых, необходимо, чтобы снаряд обладал гироскопической устойчивостью, т. е. чтобы σ_0 было вещественным числом.

Во-вторых, для правильности полета необходимо, чтобы угол δ_{1p}, составляемый динамической осью и касательной к траектории центра массы, был малым.

Для правильности полета снаряда гироскопическая устойчивость является условием необходимым, но безусловно недостаточным.

При криволинейном движении центра массы чрезмерная гироскопическая устойчивость будет вредна.

Наиболее тяжелые условия для гироскопической устойчивости имеют место в точке вылета.

Наиболее тяжелые условия для снаряда в отношении положения динамической оси относительно касательной к траектории имеют место у вершины траектории.

Определяя совместно условия гироскопической устойчивости и правильности полета снаряда по траектории, увидим, что почти все факторы, увеличивающие гироскопическую устойчивость снаряда, будут увеличивать и угол δ_{1p}.

Исключением является экваториальный момент инерции A, который совершенно не входит в формулу для δ_{1p}.

Поэтому, если необходимо увеличить гироскопическую устойчивость снаряда без ухудшения правильности его полета, то наиболее целесообразно это сделать за счет уменьшения экваториального момента инерции.

6. Деривация

После приведения силы сопротивления воздуха к силе и паре, силу R, приложенную к центру массы снаряда, разложим в плоскости касательной к траектории и оси фигуры снаряда на касательную и нормальную составляющие, как это показано на рис. 71.

Сила R_N, приложенная к центру массы, лежит в плоскости сопротивления и направлена в ту сторону, куда отклонена головная часть снаряда по отношению к касательной. Вследствие понижения касательной к траектории среднее положение колебаний оси снаряда, при вращении снаряда слева вверх направо, отклонено вправо от плоскости бросания на угол δ_{1p}. Поэтому снаряд будет сноситься вправо. Кроме этого, как показывает опыт, на боковое отклонение снаряда оказывает существенное влияние так называемая сила Магнуса. Рассмотрим вращающийся снаряд, находящийся в набегающем на него потоке (рис. 72).

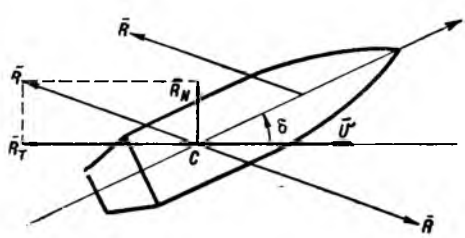


Рис. 71. Разложение силы сопротивления воздуха

Так как ось снаряда отклоняется от касательной к траектории на угол δ, то у поверхности снаряда частицы воздуха будут увлекаться по направлению стрелок на обращенной к нам стороне и в обратном направлении на стороне противоположной. Следовательно, скорости обтекания частиц воздуха на стороне, обращенной к нам, будут меньшими, а на стороне противоположной — бо́льшими. Отсюда, по теореме Д. Бернулли, на стороне снаряда, обращенной к нам, образуется сгущение, а на противоположной стороне — разрежение. В результате появится сила R_α, называемая силой Магнуса. В среднем сила Магнуса направлена, при принятой у нас правой нарезке стволов, вверх и влево, если смотреть вдоль траектории от точки вылета к точке падения. Таким образом, сила Магнуса будет частично компенсировать действие силы R_N. Суммарное боковое отклонение продолговатого вращающегося снаряда от плоскости бросания, вызываемое действием силы сопротивления воздуха, называется деривацией.

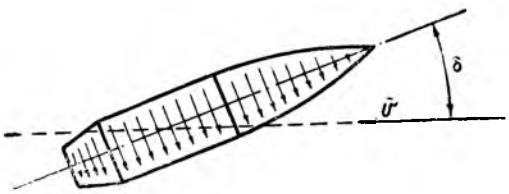


Рис. 72. Движение вращающегося снаряда в набегающем потоке

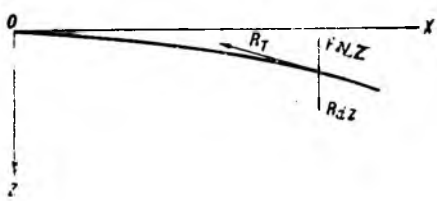


Рис. 73. Проекция сил, действующих на снаряд, на горизонтальную плоскость

Следовательно, проекцию траектории центра массы снаряда на горизонтальную плоскость можно представить так, как это сделано на рис. 73.

Обозначая проекции средних величин R_N и R_α на ось OZ соответственно через R_{NZ} и $R_{\alpha z}$, напишем уравнение движения центра массы снаряда по оси OZ:

$$\frac{q}{g} z'' = R_\text{т} \cos(R_\text{т}, z) + R_{NZ} - R_{\alpha z}.$$

Но так как

$$R_\text{т} \cos(R_\text{т}, z) = -R_\text{т} \cos(v, z) = -R_\text{т} \frac{z'}{v},$$

то

$$z'' = -\frac{g}{q} R_\text{т} \frac{z'}{v} + \frac{g}{q} R_{NZ} - \frac{g}{q} R_{\alpha z}.$$

Имея в виду, что

$$\frac{g}{q} R_\text{т} = j = cH(y) F(v),$$

окончательно будем иметь:

$$z'' = -cH(y) G(v) z' + \frac{g}{q} R_{NZ} - \frac{g}{q} R_{\alpha z}.$$

О величинах R_{NZ} и $R_{\alpha z}$ пока нет точных данных. Поэтому величина деривации определяется опытным путем.

ОТДЕЛ ПЯТЫЙ

БОЕПРИПАСЫ

★

ГЛАВА I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Под артиллерийским выстрелом, в отличие от выстрела как явления, понимается совокупность снаряда, заряда и некоторых дополнительных элементов к ним.

По назначению выстрелы делятся на боевые, практические, холостые и учебные.

В состав боевых выстрелов в различных сочетаниях могут входить:

а) окончательно снаряженный снаряд (оболочка, наполненная необходимым снаряжением, с трубкой или взрывателем);

б) боевой (пороховой) заряд;

в) гильза или картуз;

г) средство воспламенения боевого заряда;

д) вспомогательные элементы к заряду: воспламенитель, пламегаситель, нормальная крышка (обтюратор), пыж или усиленная крышка, просальник, резиновый колпак и др.

Первые четыре элемента являются непременной принадлежностью всякого боевого выстрела. Что же касается остальных, то их наличие определяется калибром орудия, назначением и типом выстрела, а также условиями стрельбы.

Боевые выстрелы предназначаются для боевых стрельб, и из определенного их сочетания составляются боекомплекты орудий.

Практические выстрелы применяются для практических стрельб и отличаются от боевых выстрелов тем, что в них входят простые и дешевые снаряды, обеспечивающие при стрельбе лишь наблюдение разрывов. В орудиях крупных калибров для практических выстрелов применяют уменьшенные заряды, с целью уменьшения износа стволов.

Холостые выстрелы предназначаются для имитации боевой стрельбы и применяются на маневрах, а также для салютов и сигналов. Основное отличие их заключается в отсутствии снаряда.

Учебные выстрелы предназначаются для обучения орудийного расчета и комплектуются из охолощенных боевых элементов или из деталей, являющихся имитацией боевых элементов.

Помимо приведенных основных типов артиллерийских выстрелов, имеются еще выстрелы опытного назначения, применяемые на полигонах для испытания артиллерийских орудий на прочность, испытания бронеплит и т. п. Эти выстрелы отличаются от боевых лишь особой конструкцией снарядов.

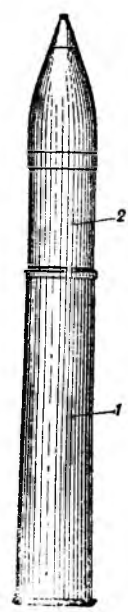


Рис. 74. Выстрел патронного заряжания:
1 — заряд в гильзе; *2* — снаряд

По своему устройству боевые артиллерийские выстрелы делятся на выстрелы патронного заряжания (унитарные патроны), раздельного гильзового заряжания и раздельного картузного заряжания.

Выстрелы патронного заряжания отличаются тем, что все их элементы соединены в одно целое — в так называемый унитарный патрон (рис. 74). Такие выстрелы применяются в орудиях малых калибров и отчасти в пушках средних калибров, главным образом зенитных.

В выстрелах раздельного гильзового заряжания (рис. 75) снаряд отделен от заряда, помещаемого в гильзу. Такие выстрелы применяются в подавляющем большинстве современных орудий средних калибров. Преимущество их перед выстрелами патронного заряжания заключается в возможности изменения у них величины заряда на огневой позиции во время стрельбы, чем обеспечивается бо́льшая гибкость огня и более выгодное использование снаряда в соответствии с характером цели и местности. Недостатком этих выстрелов по сравнению с выстрелами патронного заряжания является более низкая скорострельность орудий при стрельбе ими.

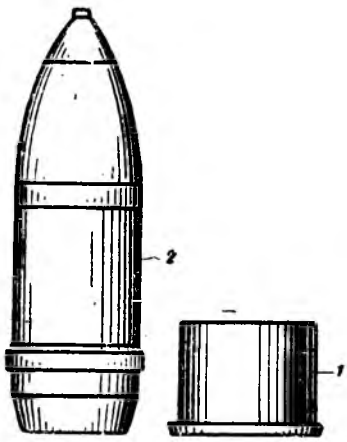


Рис. 75. Выстрел раздельного гильзового заряжания:
1 — заряд в гильзе; *2* — снаряд

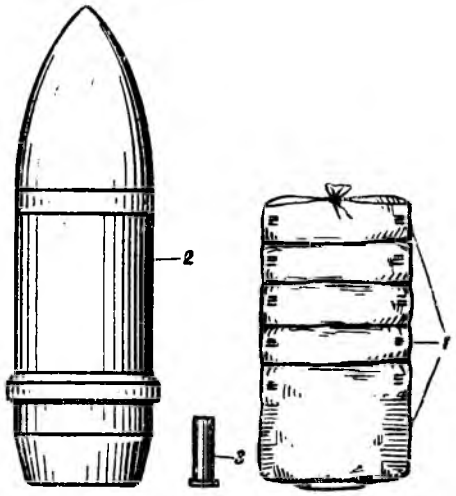


Рис. 76. Выстрел раздельного картузного заряжания:
1 — заряд (переменный); *2* — снаряд; *3* — ударная трубка

Выстрелы картузного заряжания (рис. 76) отличаются от выстрелов раздельного гильзового заряжания тем, что их заряд помещается в картузе из специальной ткани. Эти выстрелы обладают положительными качествами выстрелов раздельного гильзового заряжания, но для их зарядов требуется особая укупорка и устройство особого обтюратора в орудии.

В большинстве современных орудий для производства выстрела служит стреляющий механизм, при действии которого происходит удар бойка ударника по капсюлю и воспламенение заряда. При этом в выстрелах, снабженных гильзами, стенки последних, раздаваясь под давлением пороховых газов, плотно прижимаются к каморе ствола, чем и обеспечивается обтюрация пороховых газов. По прекращении давления пороховых газов гильза несколько обжимается за счет собственных упругих напряжений, вследствие чего экстрактирование гильз после выстрела не представляет труда.

Ускоренное поступательное и вращательное движение снаряда в канале ствола вызывает появление во всех элементах снаряда инерционных сил, которые в трубках и взрывателях используются для взведения инерционных и центробежных предохранителей. Последние обеспечивают безопасность в обращении трубок и взрывателей. После взведения предохранителей трубки и взрыватели приводятся в боевое положение.

ГЛАВА II

АРТИЛЛЕРИЙСКИЕ СНАРЯДЫ

1. Общие принципы устройства артиллерийских снарядов

Артиллерийский снаряд служит для разрушения укрытий, сооружений и материальной части противника, а также для подавления и уничтожения его живой силы.

Снаряд в окончательно снаряженном виде представляет собой совокупность металлической оболочки, снаряжения и трубки или взрывателя.

В общем случае оболочка снаряда (рис. 77) может состоять из следующих элементов: корпуса *1* с ведущим пояском, привинтной головки *2* и ввинтного дна *3*. На практике применяют оболочки, имеющие то или иное сочетание из этих элементов, а также цельнокорпусные оболочки. Последние употребляются для осколочных снарядов малых и отчасти средних калибров; корпус, головка и дно этих снарядов составляют одно целое. В большинстве фугасных и осколочно-фугасных снарядов средних калибров корпус и дно составляют одно целое, а головка — отдельная деталь. В бронебойных и бетонобойных снарядах, наоборот, корпус и головка составляют одно целое, а дно — ввинтное.

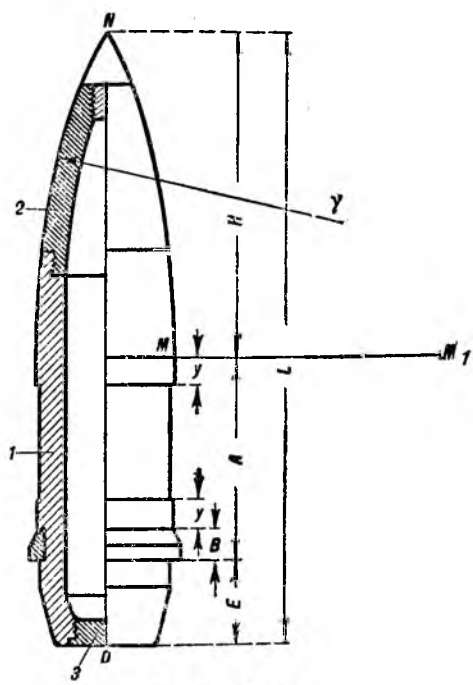


Рис. 77. Снаряд:
1 — корпус; *2* — головка; *3* — ввинтное дно

Деление оболочки снаряда на отдельные детали обусловливается необходимостью упрощения производства и снаряжения снаряда в целом.

В снаряде по наружному его виду различают: вершину N снаряда, головную часть H снаряда от вершины до ее основания, цилиндрическую часть A от основания головной части до канавки под ведущий поясок включительно, запоясковую часть E и донный срез D снаряда. На цилиндрической части имеются одно или два центрующих утолщения Y и один или два ведущих пояска B.

Оболочка имеет внутри полость для помещения снаряжения и нарезное очко для ввинчивания донного или головного взрывателя или трубки.

Полная длина снаряда L, от донного среза до вершины, колеблется обычно в пределах от 3 до 5,5 калибра. Длина полигональных и нарезных снарядов, не вышедших пока из стадии опытов, доходит до 10 калибров.

Вершина снаряда может быть острой или притупленной, в зависимости от его типа и назначения. Поверхность головной части получается вращением кривой, которая для большинства современных снарядов представляет дугу окружности радиуса γ с центром на продолжении прямой MM_1 либо несколько ниже этой прямой. Длина головной части колеблется от 1,5 до 3 калибров, а радиус γ достигает 15 и больше калибров. Длина цилиндрической части колеблется от 1,3 до 2,5 калибра в зависимости от типа снаряда. У снарядов дальнобойного типа головную часть делают длинной, а цилиндрическую часть — короткой.

Центрующие утолщения предназначаются для центрования снаряда в канале ствола (рис. 78), т. е. для возможно полного совмещения оси снаряда с осью канала ствола.

Снаряды делают с одним или двумя центрующими утолщениями. При наличии одного (верхнего) центрующего утолщения центрование задней части снаряда обеспечивается ведущим пояском. Современные снаряды раздельного заряжания делают с двумя центрующими утолщениями, чем обеспечивается удовлетворительное центрование даже в изношенном канале ствола. Нижнее центрующее утолщение делают, как правило, выше ведущего пояска.

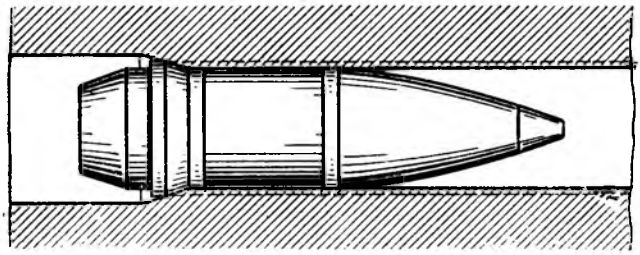


Рис. 78. Положение снаряда в канале ствола перед выстрелом

Центрующие утолщения обрабатывают с особой тщательностью. Для обеспечения легкости заряжания диаметр центрующих утолщений делают на 0,1—0,2 *мм* меньше калибра орудия. Ширина центрующих утолщений 0,1—0,2 калибра.

Диаметр цилиндрической части снаряда между центрующими утолщениями меньше диаметра центрующих утолщений, что позволяет ограничиваться в этой части снаряда грубой обработкой ее поверхности.

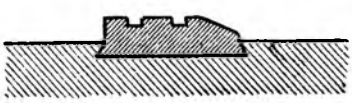


Рис. 79. Сечение ведущего пояска

Ведущий поясок делают, как правило, из меди. Его запрессовывают в кольцевую канавку на корпусе снаряда, имеющую в сечении форму „ласточкиного хвоста" (рис. 79) и глубину до 0,03 калибра. Ширина ведущего пояска определяется расчетом, однако для облегчения врезания в нарезы ствола и сохранения удобообтекаемой формы снаряда она не должна превышать 20—30 *мм*, в зависимости от калибра. При необходимости применить более широкий ведущий поясок прибегают к постановке двух узких ведущих поясков.

Для помещения выдавливаемого металла пояска после врезания его в нарезы ствола орудия на ведущем пояске (иногда и на оболочке снаряда непосредственно за пояском) делают кольцевые канавки.

Ведущие пояски имеют больший диаметр, чем диаметр канала по дну нарезов (рис. 78). Разность этих диаметров называют форсированием. Форсированием устраняется прорыв пороховых газов между снарядом и стенками канала ствола.

Длина запоясковой части обычно не превышает 1 калибра. В снарядах дальнобойного типа запоясковая часть имеет цилиндро-коническую форму с наклоном производящей конуса около 6—9°. Запоясковая часть снарядов недальнобойного типа — цилиндрическая.

2. Классификация артиллерийских снарядов

К началу войны 1914—1918 гг. на вооружении сухопутной артиллерии во всех странах состояли почти исключительно фугасные снаряды для стрельбы по сооружениям и шрапнели — для стрельбы по открытым живым целям. Широко применявшиеся в артиллерии в XIX и предшествующих веках осколочные, зажигательные, осветительные, дымовые и другие снаряды были почти полностью изъяты из боекомплектов орудий.

Опыт первой империалистической войны показал неудовлетворительность такого боекомплекта и необходимость разработки новых типов снарядов как для разрушения целей, так и для выполнения специальных боевых задач. Появление новых типов снарядов было вызвано развитием новых тактических форм боя, а также развитием новых технических средств борьбы — танков и авиации. В результате этого значительно усложнились боекомплекты орудий и питание боеприпасами артиллерии во время войны, но, с другой стороны, сильно расширился круг задач, решаемых артиллерийским огнем.

Основные боевые задачи, решаемые современной артиллерией в зависимости от калибров орудий, и необходимые для решения этих задач снаряды приведены в таблице 43.

Таблица 43

Боевые задачи орудий и необходимые для их выполнения снаряды

Системы	Боевые задачи	Снаряды
37—45-*мм* пушки	Борьба с танками и огневыми пехотными средствами.	Бронебойный, осколочный.
76-*мм* пушки	Уничтожение живой силы, не находящейся за укрытием; борьба с мото-механизированными войсками и подавление огневых средств пехоты; разрушение проволочных заграждений и подавление артиллерии.	Осколочный, шрапнель пулевая, химический, осколочно-химический, бронебойный, фугасный, зажигательный.
76-*мм* зенитные пушки	Борьба с авиацией.	Осколочный, шрапнель зенитная.
107—152-*мм* пушки	Борьба с артиллерией и подавление дальних целей; борьба с мото-механизированными войсками; разрушение бетонированных сооружений (152-*мм*); выполнение специальных задач.	Осколочно-фугасный, шрапнель пулевая, зажигательный, химический, дымовой, осколочно-химический, бетонобойный, бронебойный, фугасный.
122—152-*мм* гаубицы	Уничтожение живой силы, находящейся за укрытием и вне его; подавление пехотных огневых средств; разрушение сооружений полевого типа; борьба с артиллерией и мото-механизированными войсками; выполнение специальных задач.	Осколочно-фугасный, фугасный, химический, осколочно-химический, бетонобойный, осветительный, дымовой, бронебойный, зажигательный, шрапнель.
Пушки и гаубицы большой мощности.	Разрушение особо прочных бетонных, железобетонных и броневых сооружений; борьба с крупнокалиберной или укрытой прочными сооружениями артиллерией.	Бетонобойный, фугасный, бронебойный.

Согласно принятой классификации по своему назначению снаряды делятся на три группы: основного, специального и вспомогательного назначения.

Снаряды основного назначения служат для непосредственного поражения и разрушения целей и составляют основную массу боекомплектов всех орудий. Сюда относятся: фугасные, осколочные, осколочно-фугасные, бронебойные, бетонобойные, химические, осколочно-химические и зажигательные снаряды. Осколочные снаряды в свою очередь делятся на две группы: а) снаряды с осколками от корпуса, или осколочные гранаты, и б) снаряды с готовыми элементами, к которым принадлежат шрапнели всех типов и картечи.

Снаряды специального назначения служат для решения некоторых специальных задач (ослепление или освещение противника, облегчение пристрелки, целеуказание, влияние на политико-моральное состояние про-

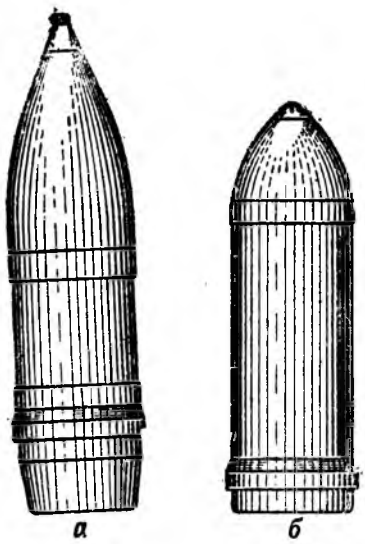


Рис. 80:
а — дальнобойный снаряд; *б* — недальнобойный снаряд

тивника и т. п.). Типичные снаряды этой группы следующие: дымовые, осветительные, трассирующие и агитационные.

Снаряды вспомогательного назначения применяются для различных полигонных испытаний и для учебно-боевой подготовки войск. К этим снарядам относятся: системопробные, практические, учебные и др.

Помимо этого, все снаряды в зависимости от калибра делятся на три группы: снаряды малых калибров — менее 75 *мм*, средних калибров — от 75 до 155 *мм* и крупных калибров — более 155 *мм*.

По принципу обеспечения устойчивости на полете снаряды делятся на вращающиеся и невращающиеся. К первым относятся все артиллерийские снаряды, предназначаемые для нарезных орудий, а ко вторым — мины, снабжаемые хвостовым оперением.

Кроме того, снаряды делятся на дальнобойные и недальнобойные. Дальнобойные снаряды имеют удлиненную форму головной части, короткую цилиндрическую и цилиндро-коническую или цилиндро-оживальную запоясковую часть.

На рис. 80 приведены для сравнения два снаряда одного калибра: дальнобойный (*а*) и недальнобойный (*б*).

3. Требования к артиллерийским снарядам

К артиллерийским снарядам предъявляют тактико-технические и производственно-экономические требования.

К тактико-техническим относятся требования: могущества, дальнобойности, кучности боя и безопасности снарядов при выстреле и в обращении.

Требование могущества означает, что снаряд должен обладать максимальным действием по цели. В зависимости от типа и назначения снаряда это требование удовлетворяется различными путями, как например, для фугасных снарядов — помещением в снаряде возможно большего заряда ВВ, для осколочных снарядов — увеличением количества убойных осколков с наибольшим радиусом поражения, для бронебойных снарядов — увеличением живой силы при ударе о преграду и т. д.

Конструктивные особенности отдельных типов снарядов характеризуются следующими показателями: толщиной стенок оболочки, коэфициентом наполнения или относительными весами разрывного заряда и снаряда.

Толщину стенок оболочки выражают в калибрах; она имеет наименьшую величину у фугасных снарядов и наибольшую — у бронебойных снарядов.

Коэфициент наполнения

$$\alpha = \frac{\omega_p}{q} 100\%$$

выражает в процентах отношение веса разрывного заряда ω_p к весу окончательно снаряженного снаряда q. Этот показатель является основной характеристикой могущества фугасного снаряда.

Относительный вес разрывного заряда

$$C_{\omega_р} = \frac{\omega_р}{d^3}$$

выражает отношение веса разрывного заряда (в килограммах) к кубу калибра снаряда (в дециметрах).

Относительный вес снаряда или коэфициент веса снаряда

$$C_q = \frac{q}{d^3}$$

показывает отношение веса окончательно снаряженного снаряда (в килограммах) к кубу калибра (в дециметрах).

Значения этих показателей колеблются в небольших пределах для отдельных типов снарядов, и потому они позволяют приближенно определить веса разрывных зарядов и снарядов по калибрам последних.

Все возрастающее требование увеличения дальнобойности и высокобойности привело к необходимости изменений в устройстве снарядов с целью:

а) увеличения их поперечной нагрузки;
б) придания им удобообтекаемой формы;
в) повышения их устойчивости на полете.

Повышение поперечной нагрузки в основном сводится к выбору снаряда наивыгоднейшего, с балистической точки зрения, веса при непременном соблюдении всех остальных требований, предъявляемых к снаряду.

Улучшение формы снаряда (рис. 80) явилось одним из наиболее радикальных и экономичных способов повышения дальнобойности артиллерии. Так, применением снарядов дальнобойного типа к старым артиллерийским орудиям французам удалось во время войны 1914 — 1918 гг. повысить дальнобойность 19-*см* и 75-*мм* пушек более чем на 50%.

Повышение устойчивости снаряда в полете достигается выбором наивыгоднейшей конструкции снаряда, его ведущих и центрующих частей, а также выбором соответствующей крутизны нарезки, необходимой для придания снаряду требуемой угловой скорости.

При конструировании снарядов необходимо учитывать влияние на кучность боя: а) различия в весах и наружных очертаниях снарядов, б) распределения масс отдельных элементов окончательно снаряженных снарядов и в) устройства ведущей части.

Вопрос безопасности снарядов при стрельбе и в обращении имеет огромное значение. Во время первой империалистической войны французская артиллерия в течение 1915 — 1916 гг. потеряла 6 000 полевых 75-*мм* пушек вследствие разрыва или раздутия стволов, причем было убито и ранено несколько тысяч артиллеристов[1]. Значительные потери материальной части от преждевременных разрывов снарядов имели место и в других воюющих странах.

Причинами преждевременных разрывов могут быть: недостаточная прочность оболочки снаряда, неудовлетворительное качество взрывчатого вещества и снаряжения и неудовлетворительное качество взрывателя.

Особая опасность боеприпасов по сравнению со всеми остальными видами военной техники заставляет обращать на их качество особое внимание, чтобы предупредить возможность катастроф.

К производственно-экономическим требованиям относятся: простота конструкции и дешевизна производства, унификация снарядов различного назначения и недефицитность исходных материалов.

---

[1] Е. Барсуков, Русская артиллерия в мировую войну.

4. Снаряды основного назначения

1. Фугасные снаряды. По своему устройству фугасные снаряды (рис. 81) принадлежат к числу простейших. Они состоят из тонкостенной стальной оболочки и разрывного заряда из взрывчатого вещества.

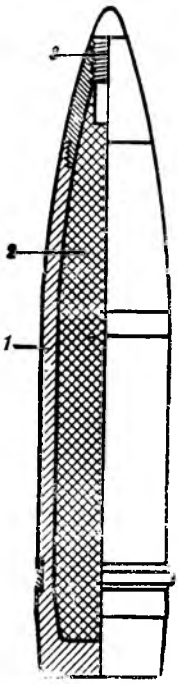


Рис. 81. Фугасный снаряд:

1 — оболочка; *2* — ВВ; *3* — взрыватель

Эти снаряды предназначаются для стрельбы по небетонированным оборонительным сооружениям полевого типа — окопам, блиндажам, огневым точкам и т. п. Совместно с бетонобойными снарядами фугасные снаряды могут применяться и для стрельбы по бетонированным сооружениям.

Фугасные снаряды действуют главным образом разрушительной силой газов разрывного заряда и отчасти силой удара о преграду. В соответствии с этим могущество фугасных снарядов определяется весом разрывного заряда и качеством взрывчатого вещества.

Могущество фугасного снаряда в пределах одного калибра можно повысить за счет увеличения емкости внутренней каморы для разрывного заряда и за счет применения более мощного ВВ.

Увеличение объема каморы снаряда возможно путем удлинения главным образом цилиндрической части снаряда и уменьшения толщины его стенок. Однако длина цилиндрической части снаряда ограничена общей предельной длиной снаряда в 5—5,5 калибра и требованиями балистики к его форме. Тем не менее относительно длинная цилиндрическая часть является характерной для фугасных снарядов.

Уменьшение толщины стенок оболочки фугасного снаряда ограничено требованием его прочности при выстреле. В гаубицах и мортирах давление пороховых газов при выстреле значительно меньше, чем у пушек; поэтому фугасные снаряды к ним имеют больший коэфициент наполнения.

Основные линейные и весовые характеристики гаубичных и мортирных фугасных снарядов выражаются следующими величинами: толщина стенок — 1/10 — 1/15 калибра; α — до 25%; $C_{\omega_p} = 2{,}0 - 3{,}0$; $C_q = 8 - 12$.

Применение фугасных снарядов целесообразно лишь в орудиях калибра от 120 *мм* и выше, так как вследствие незначительной вместимости снарядов меньших калибров невозможно обеспечить необходимое фугасное действие их даже по самым легким полевым укрытиям. Для средних калибров более выгодно применение осколочно-фугасных снарядов, сравнительно мало уступающих фугасным снарядам по фугасному действию, но более удобных с точки зрения боевого питания артиллерии и производства.

Для снаряжения фугасных снарядов применяется почти исключительно тротил, а в военное время, кроме того, мелинит и различные суррогатные ВВ.

Для фугасных снарядов применяются головные и донные взрыватели инерционного и замедленного действия. Это обеспечивает необходимое углубление снаряда в преграду до момента его разрыва.

Ударное действие. Действие фугасного снаряда по цели, как уже было отмечено, складывается из ударного и фугасного действия.

Снаряд в момент удара о преграду обладает некоторой кинетической энергией, которая выражается формулой

$$E_c = \frac{qv_c^2}{2g}.$$

Пренебрегая деформациями самого снаряда, можно считать, что эта кинетическая энергия при проникании снаряда в преграду расходуется на преодоление связи между частицами среды и на преодоление их инерции, или, иначе говоря, на совершение статической и динамической работы в преграде.

В зависимости от характера преграды ударное действие снаряда может выражаться либо в пробивании преграды (стенка или перекрытие блиндажа), либо в проникании в преграду на некоторую глубину. В первом случае ударное действие измеряется толщиной пробиваемой преграды, а во втором — наибольшей величиной углубления в преграду.

Углубление снаряда в преграду измеряют по касательной к траектории s (рис. 82) или по нормали к преграде l. В первом случае определяют путь снаряда в преграде, а во втором — глубину проникания в нее. Обе эти характеристики ударного действия имеют значение для подбора времени замедления взрывателя, обеспечивающего необходимое для наилучшего фугасного действия углубление снаряда в преграду.

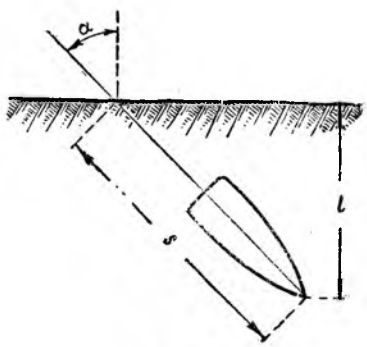


Рис. 82

Сложность и скоротечность процессов, имеющих место при этом, не позволяют пока определять глубину проникания снаряда чисто теоретическим путем. Поэтому все известные на сегодняшний день формулы для подсчета величин s и l являются полуэмпирическими или эмпирическими.

Приведем в качестве примера так называемую березанскую формулу для подсчета глубины проникания снаряда в преграду, принятую в результате больших опытных стрельб на острове Березани в 1912 г. При этих стрельбах были установлены коэфициенты, характеризующие свойства различных преград.

$$l = k_n \frac{q}{d^2} v_c \cos\alpha,$$

где k_n — коэфициент, характеризующий свойства среды;

α — угол между касательной к траектории в точке падения и нормалью к преграде, так называемый угол от нормали.

Как видно из березанской формулы, глубина проникания снаряда в преграду зависит от угла α (или, что то же, от угла падения снаряда θ_c), от скорости снаряда при встрече с преградой v_c, веса снаряда q, калибра d и свойств среды, характеризуемых коэфициентом k_n. Однако, помимо этих факторов, на проникание снаряда в преграду еще, несомненно, влияют его форма и степень сохранения им формы при проникании в преграду, а также угол между осью фигуры снаряда и касательной к траектории, что в березанской формуле не учитывается.

Значения коэфициента k_n для некоторых материалов приведены в таблице 44.

Таблица 44

Значения коэфициента k_n при измерении l в *м*, q в *кг*, d в *см* и v_c в *м/сек*

Материал преграды	k_n
Свеженасыпанный грунт	0,130—0,150
Грунт средней плотности	0,110—0,130
Плотный грунт	0,060—0,085
Песок	0,045
Кирпичная кладка	0,020—0,025
Слабый бетон	0,012—0,013

В таблице 45 приведены данные, по французским опытам, о глубине проникания снарядов, приведенных к весу[1], в грунт средней плотности.

Таблица 45

Глубина проникания снарядов в грунт средней плотности (по французским опытам)

Калибр в *мм*	v_c в *м/сек*	$\theta_c°$	l в *м*	Среднее горизонтальное перемещение в *м*
75	220	25	1,0	1,5
155	260	30	1,6	2,5
210	225	42	2,0	4,0
280	350	38	3,4	4,5
280	350	65	4,5	3,8
350	250	35	3,0	6,5
350	280	60	5,0	5,0

Влияние углов падения сильно сказывается на характере ударного действия снарядов. Как показывают опыты, при углах падения $\theta_c < 10°$ все снаряды орудий средних и малых калибров в момент удара о грунт рикошетируют (рис. 83), оставляя на поверхности открытую борозду.

Рис. 83. Рикошет снаряда

При углах падения от 10° до 20° большинство снарядов (до 75%) рикошетирует, совершив некоторый путь под землей (рис. 84). При углах от 20° до 30° рикошетирует менее одной трети выстреленных снарядов, а при углах, бо́льших 30°, все снаряды углубляются в грунт, двигаясь в нем по кривым, различным для каждого отдельного выстрела (рис. 85).

Рис. 84. Рикошет снаряда

Фугасное действие. Фугасное действие заключается в разрушении, производимом газами от взрыва разрывного заряда снаряда. Хотя фугасные снаряды и предназначаются для разрушения сооружений, тем не менее для систематизации опытного материала удобнее изучать действие взрыва снаряда на грунт, а не на сооружения различной прочности.

Благодаря применению взрывателей с замедлением разрыв фугасных снарядов происходит после некоторого углубления их в преграду. Замедлитель подбирается таким образом, чтобы разрушение было по возможности близко к максимальному.

Разрыв фугасного снаряда происходит, как правило, в плотной среде, чаще всего в грунте. Взрывом снаряда земля выбрасывается в сторону наименьшего сопротивления, т. е. вверх и в стороны, в результате чего на месте взрыва образуется воронка (рис. 86). Так как часть выброшенной взрывом земли падает обратно в воронку и на ее края, то видимая вели-

[1] Приведенными к весу называются снаряды, снаряженные вместо ВВ каким-либо инертным веществом для придания им нормального боевого веса.

чина воронки несколько меньше действительной воронки, образованной взрывом.

В пространстве, подвергшемся действию разрывного заряда снаряда, различают следующие три сферы: A — сфера сжатия, B — сфера разрушения и C — сфера сотрясения. В сфере сжатия образуется пустота; частицы преграды раздвигаются и уплотняются. Сфера разрушения характеризуется нарушением связи между частицами среды, а сфера сотрясения — лишь приведением среды в колебательное движение.

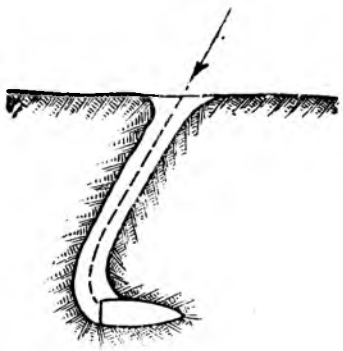


Рис. 85. Возможный путь снаряда в грунте при больших углах падения [1]

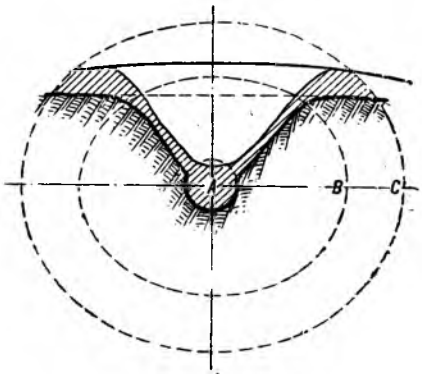


Рис. 86. Разрез грунта через воронку снаряда:

A — сфера сжатия; *B* — сфера разрушения; *C* — сфера сотрясения

За меру фугасного действия принимается объем воронки. Действие фугасного снаряда зависит от веса и количества разрывного заряда, от глубины проникания снаряда до момента разрыва и от свойств ВВ и грунта. Имеются расчетные формулы, учитывающие как фугасное и ударное действие вместе, так и отдельно фугасное действие.

К числу последних можно отнести следующую формулу, позволяющую определить так называемую линию наименьшего сопротивления h, т. е. расстояние от центра разрывного заряда снаряда до поверхности земли, при котором еще получается открытая воронка (при определенном ВВ):

$$h = \sqrt{\frac{\omega_p}{c}},$$

где c — коэфициент, зависящий от h и свойств среды;

ω_p — вес разрывного заряда в *кг* при h в метрах.

Значения коэфициента c приведены в таблице 46.

Таблица 46

Значения коэфициента c

Среда	h в *м*	c
Каменная кладка, бетон, скала	До 0.9	5,0
	0,9—1,5	4,0
	1,5 – 2,0	3,5
	Больше 2,0	3,0
Более слабая кладка	—	3,0
Щебень и несвязанные насыпи	—	1,0
Прочие среды	—	0,7

[1] Показанный на рисунке путь снаряда в преграде возможен, но не является характерным. Чаще всего снаряд отклоняется вверх от касательной к траектории. — *Ред.*

Получающиеся от разрыва фугасных снарядов воронки имеют различную форму и объем в зависимости от углубления снаряда в преграду и свойств преграды. При некотором углублении снаряда получается наивыгоднейшее фугасное действие, соответствующее наибольшему выбросу грунта в точке разрыва.

В таблице 47 приведены объемы воронок, полученные при разрыве 107-*мм* гранат на различной глубине в грунте.

Таблица 47

Данные, характеризующие воронки, образованные подорванными на различной глубине 107-*мм* фугасными снарядами, снаряженными мелинитом

Углубление в *м*	0,00	0,30	0,61	0,91	1,22	1,52
Диаметр воронки в *м*	1,00	1,88	2,50	3,05	2,44	2,00
Глубина воронки в *м*	0,45	0,91	0,83	1,06	0,83	0,68
Объем воронки в $м^3$ . . .	0,21	2,10	2,10	3,81	1,90	1,01
Объем воронки на 1 *кг* ВВ .	0,13	1,30	1,30	2,30	1,20	0,60

Как показывают опыты, при наивыгоднейшем углублении 1 *кг* тротила в состоянии выбросить 2,2—2,5 $м^3$ земли. В действительности же снаряды дают выброс 1,2—1,5 $м^3$ земли на 1 *кг* ВВ. При слишком большом замедлении взрывателя снаряд успевает до взрыва его настолько глубоко уйти в грунт, что газы разрывного заряда не в состоянии вскрыть воронку. В результате получается так называемый к а м у ф л е т, или ненаблюдаемый подземный взрыв снаряда.

Стрельба на камуфлетах рекомендуется уставами некоторых армий для разрушения подземных сооружений, что следует признать целесообразным при условии обеспечения тщательной пристрелки.

В таблице 48 приведены данные о камуфлетах для некоторых калибров фугасных снарядов.

Таблица 48

Расстояния от поверхности земли (твердый грунт) до дна подземной пустоты, образованной при навесной стрельбе фугасными гранатами
(по французским данным)

Калибр в *мм*	Глубина в *м*
155	3,0
220	4,5
270	6,0
370	10,0

Таблица 49

Данные, характеризующие воронки в твердых грунтах от снарядов разных калибров
(по французским данным)

Калибр в *мм*	Диаметр воронки в *м*	Глубина воронки в *м*	Объем воронки в $м^3$
75	0,8	0 3	0,5
120	2,5	0,9	2,6
155	3,5	1,5	6,0
194	5,0	1,4	7,0
220	6,0	1,7	14,3

Зависимость фугасного действия от разнообразных и не поддающихся достаточно точному учету факторов чрезвычайно затрудняет даже опытный подбор замедлителей для взрывателей, вследствие чего пользуются некоторыми средними значениями замедления.

Для иллюстрации в таблице 49 приведены размеры воронок для снарядов разных калибров и взрывателей с замедлением, по опытам французской артиллерии[1].

Объем воронки можно подсчитать по следующей приближенной формуле Рдултовского:

$$W = \alpha d_1 d_2 h,$$

[1] Французское наставление по стрельбе артиллерии 1936 г.

где d_1 и d_2 — наибольший и наименьший диаметры воронки;
h — глубина воронки;
α — коэфициент, величина которого определяется по среднему диаметру воронки $d_{ср} = \frac{d_1 + d_2}{2}$ следующим образом:

при $d_{ср} = 2h - 3h \ldots \alpha = 0{,}38$
при $d_{ср} = 3h - 3{,}8h \ldots \alpha = 0{,}33$
при $d_{ср} = 3{,}9h - 4{,}5h \ldots \alpha = 0{,}29$

2. Осколочные гранаты. По своему устройству осколочные гранаты (рис. 87) бывают цельнокорпусные или с привинтной головкой.

Осколочные гранаты применяются в малокалиберной артиллерии и составляют основу боекомплектов батарей зенитной, полковой и дивизионной артиллерии, вооруженных 75—77-*мм* орудиями. В крупнокалиберной зенитной артиллерии применяются осколочные гранаты калибром до 130 *мм* и редко больше.

Осколочные гранаты предназначаются для стрельбы по воздушным и живым наземным целям. Они также могут применяться для стрельбы по легким полевым укрытиям, для пробития проходов в проволочных заграждениях, а малокалиберные гранаты — и для стрельбы по амбразурам бетонированных укрытий.

Исходя из этих задач, основное требование, предъявляемое к осколочным гранатам, заключается в обеспечении максимального количества убойных осколков от корпуса при достаточном убойном интервале осколков[1]. Поэтому осколочные гранаты отличаются от фугасных более толстыми стенками оболочки и меньшим количеством ВВ, которое должно лишь обеспечить дробление снаряда на убойные осколки и сообщение им достаточной скорости.

Основные линейные и весовые характеристики осколочных гранат следующие:

$\alpha = 6—10\%$ (иногда меньше);
$C_{\omega_p} = 1{,}0—1{,}5$;
$C_q = 14—16$ и больше;
толщина стенок — $^1/_4$—$^1/_6$ калибра.

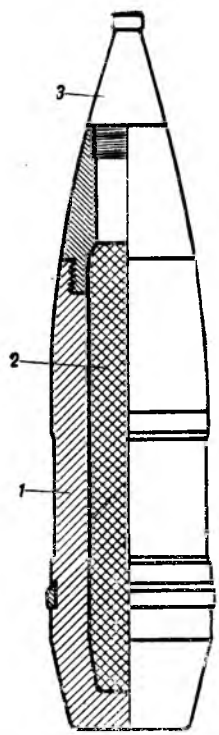


Рис. 87. Осколочная граната:
1 — оболочка; *2* — ВВ; *3* — взрыватель

Снаряжение осколочных гранат аналогично снаряжению фугасных. Так как эти гранаты имеют толстые стенки, то возможно изготовление их оболочек не из стали, а из более дешевого металла — сталистого чугуна, что и было сделано французами во время войны 1914—1918 гг. Однако боевые качества таких снарядов недостаточно высоки вследствие дробления оболочек на очень мелкие осколки.

Взрыватели к этим снарядам применяются либо мгновенного действия, обеспечивающие разрыв снаряда в момент соприкосновения взрывателя с преградой (получается хорошее осколочное действие по открытым живым и по воздушным целям), либо с установками на мгновенное, инерционное и иногда замедленное действие. Осколочные гранаты зенитной артиллерии средних и крупных калибров снабжаются дистанционными взрывателями.

---

[1] Убойным интервалом осколка называется расстояние от точки разрыва снаряда, на котором осколок сохраняет убойную энергию, т. е. способность поражать цели.

Действие осколочных гранат. Осколочные гранаты, как уже указывалось, действуют осколками от корпуса, из которых только часть, носящая название убойных, способна наносить поражение.

Как показывает опыт, для вывода человека из строя осколок должен обладать живой силой

$$\frac{pv^2}{2g} = 10 \text{ кгм},$$

где p — вес осколка в *кг*;

v — скорость осколка в *м/сек*.

Учитывая скорости, сообщаемые осколкам разрывным зарядом, а также падение этих скоростей на полете, принято считать убойными осколки весом от 5 *г* и больше. На практике при испытании снарядов считают убойными осколки, пробивающие сосновую доску толщиной 25 *мм*.

Для поражения воздушных целей убойными можно считать только осколки весом не менее 20 *г*; поэтому в зенитных осколочных гранатах средних калибров часто стремятся конструктивно обеспечить дробление снаряда на определенное число осколков необходимого веса, а также и формы.

При конструировании снарядов стремятся увеличить убойный интервал осколков, под которым понимают расстояние от точки разрыва, на котором осколок сохраняет убойную энергию. Убойный интервал осколков зависит от веса, формы и скорости их в момент разрыва снаряда.

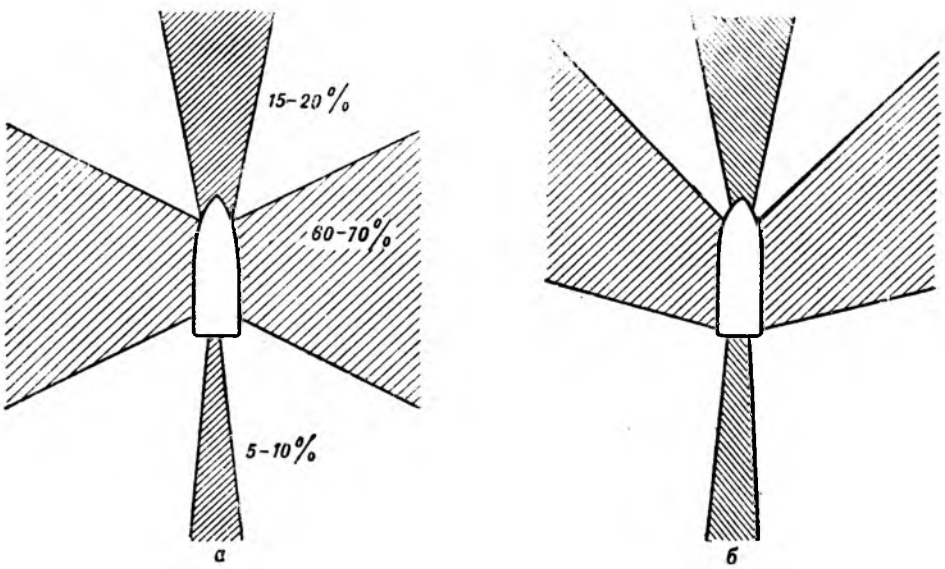


Рис. 88. Разлет осколков гранаты при взрыве

Современная осколочная граната при разрыве дает в основном три снопа осколков: головной, заключающий в себе 15—20% осколков, боковой, имеющий вид зонтика и состоящий из 60—70% осколков, и, наконец, донный, состоящий из 5—10% осколков. При подрыве снаряда картина разлета осколков аналогична изображенной на рис. 88, *а*. При разрыве такого снаряда в полете, вследствие сложения скоростей осколков от разрывного заряда со скоростью снаряда в момент разрыва, боковой сноп осколков примет некоторый наклон вперед (рис. 88, *б*).

Из изложенного следует, что даже при применении взрывателей мгновенного действия значительная часть осколков углубится в преграду или рассеется в пространстве и не будет использована. Поэтому для повышения осколочного действия по наземным целям следует использовать рикошетирование снарядов, с тем чтобы получить разрывы снарядов в воз-

духе после удара в грунт. Как показывает опыт, поражение живых целей при таком способе стрельбы возрастает. Однако для получения разрывов снарядов после рикошета необходимы применение взрывателей с установкой на замедление и соответствующие условия стрельбы: угол встречи до 18—22° и грунт достаточной твердости.

Такой способ стрельбы легко осуществим также осколочно-фугасными снарядами, взрыватели которых допускают все необходимые установки.

Скорости, получаемые осколками от действия разрывного заряда, достигают 1000 *м/сек*, однако вследствие неправильной их формы и ряда вредных явлений, сопровождающих полет осколков в воздухе, их скорость быстро падает, и потому площади действительного поражения[1] осколочных гранат сравнительно невелики (рис. 89).

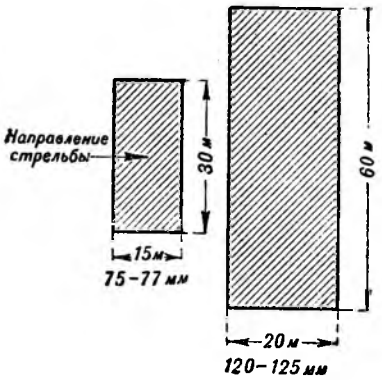


Рис. 89. Площади действительного поражения осколочных снарядов

Площади действительного поражения малокалиберных осколочных снарядов еще меньше. При стрельбе по самолетам такие снаряды могут нанести поражение лишь при прямом попадании. Поэтому малокалиберные снаряды снабжаются ударными взрывателями мгновенного действия.

3. Шрапнели. Шрапнель до войны 1914—1918 гг. составляла основную часть боекомплектов орудий полевой артиллерии. По своему устройству шрапнель является одним из наиболее сложных по конструкции снарядов.

В зависимости от формы убойных элементов различаются следующие типы шрапнелей: пулевая, стержневая, палочная и с накидками.

Пулевая шрапнель (рис. 90) состоит из стакана *1*, привинтной головки *2* с втулкой-гайкой *3*, диафрагмы *4*, центральной трубки *5*, упирающейся с одной стороны в диафрагму, а с другой — во втулку-гайку, сферических пуль *6*, помещенных в свободном пространстве стакана между диафрагмой, головкой и центральной трубкой. Нижние слои пуль засыпаны дымовым составом, а остальные залиты канифолью или серой. Заливка пуль имеет назначение предохранить их от перемещения и сплющивания при выстреле.

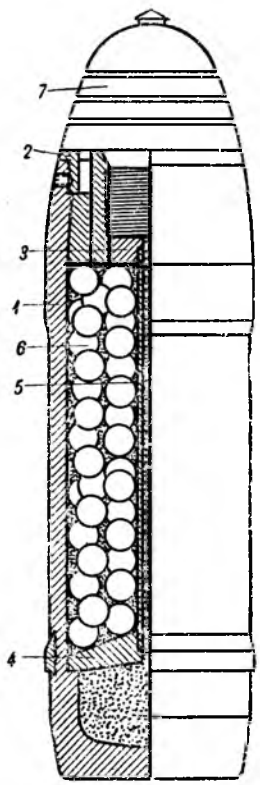


Рис. 90. Пулевая шрапнель:

1 — стакан; *2* — головка; *3* — втулка-гайка; *4* — диафрагма; *5* — центральная трубка; *6* — пули; *7* — трубка двойного действия

Камора в стакане под диафрагмой заполняется вышибным зарядом из черного пороха. В очко головки ввинчивается дистанционная трубка *7*, огонь которой передается через центральную трубку вышибному заряду шрапнели. Для однообразия времени передачи огня вышибному заряду и для усиления луча огня центральную трубку заполняют пороховыми столбиками с каналами, либо слегка подпрессованным порохом.

Шрапнельные пули изготовляют из свинца для уменьшения объема каждой пули, при сохранении необходимого веса; для повышения твердости пуль к свинцу добавляется сурьма.

Количество и вес пуль шрапнелей разных калибров приведены в таблице 50.

[1] Площадь действительного поражения соответствует средней плотности поражения 0,5.

Таблица 50

Данные о шрапнелях разных калибров

Калибр в *мм*	Вес шрапнели в *кг*	Вес вышибного заряда в *г*	Число пуль	Диаметр пули в *мм*	Вес пули в *г*	α в %
76	6,5	85	260	12,7	10,7	42,8
107	16,6	196	600	12,7	10,7	39,0
122	23,0	300	500	15,0	19,0	41,3
152	41,0	560	690	16,2	21,0	35,3

Перед заряжанием орудия шрапнелью трубка устанавливается на требуемую дальность, иначе говоря, на определенное время действия от момента выстрела до момента разрыва. В результате этого через заданный промежуток времени, когда снаряд еще находится в воздухе, огонь из дистанционной трубки передается через центральную трубку вышибному заряду шрапнели. Газы вышибного заряда толкают диафрагму, а последняя — центральную трубку, которая, давя на втулку-гайку, отрывает головку от стакана и выталкивает пули вперед с некоторой добавочной скоростью. Пули разлетаются, образуя конус разлета, и поражают цели, находящиеся в пределах убойного интервала. При разрыве шрапнели стакан, как правило, остается целым, чем обеспечивается направленность полета убойных элементов.

Пулевые шрапнели применяются в орудиях калибром от 75 до 155 *мм* и предназначаются исключительно для поражения открытых живых целей.

Помимо дистанционной стрельбы с получением разрывов на полете, шрапнелью можно стрелять с установкой трубки на картечь и на удар.

В первом случае 76-*мм* шрапнель с 22-секундной трубкой разрывается в 6—10 *м* от дула орудия, а пули сохраняют убойную энергию на расстоянии 300—400 *м* от дула. Такая стрельба применяется для самообороны батареи против конницы и пехоты.

Стрельба шрапнелью с установкой трубки на удар может дать необходимый эффект лишь при условии рикошетирования снарядов, т. е. при стрельбе на небольшие дальности [1]. Поэтому ударный механизм в современных трубках служит почти исключительно для обеспечения наблюдения разрывов при клевках, т. е. разрывов, получаемых после падения снаряда при дистанционной стрельбе.

Для оценки конструктивного оформления шрапнели служит следующий коэфициент:

$$\alpha = \frac{np}{q} 100\,\%,$$

где n — число пуль;

p — вес одной пули.

Значения α для различных шрапнелей приведены в таблице 50, из которой следует, что полезная нагрузка шрапнели не превышает 43% общего ее веса.

Основные недостатки шрапнели, выявленные в русско-японской войне и войну 1914—1918 гг., заключаются в следующем:

а) шрапнель совершенно бессильна против живых целей, находящихся даже за самыми слабыми укрытиями;

б) моральный эффект от разрыва шрапнели ниже, чем от гранаты.

---

[1] По французскому наставлению — до 1—1,5 *км* при благоприятном грунте и при стрельбе из 75-*мм* пушки.

В связи с этим в некоторых армиях (английской, германской) вообще отказались от шрапнелей; в других же армиях количество шрапнелей в боекомплекте сильно сокращено и вместо шрапнелей введены осколочные и осколочно-фугасные гранаты. Оставление шрапнели на вооружении других армий объясняется большой глубиной поражения, которой она обладает по сравнению с осколочной гранатой, и отличным действием по открытым живым целям.

Значительный боевой эффект шрапнельного огня по открытым живым целям может быть иллюстрирован следующим примером из первой мировой империалистической войны. 7 августа 1914 г. 6-я батарея 42-го французского полка, открыв огонь шрапнелью с дистанции 5000 *м* по 21-му драгунскому немецкому полку в походной колонне, 16 выстрелами уничтожила полк, выведя из строя 700 человек.

Отличное действие шрапнели по открытым живым целям на малых и средних боевых дальностях подтвердилось и на опыте войны 1936—1939 гг. в Испании, где по мере роста квалификации республиканского командного состава требования на шрапнели непрерывно росли.

Использование пулевых шрапнелей для зенитной стрельбы совершенно нецелесообразно, вследствие ничтожного поражающего действия сферических пуль по современным самолетам. Для этой цели были приняты шрапнели — стержневая, палочная и с накидками.

Стержневая шрапнель (рис. 91), не отличаясь конструктивно от пулевой шрапнели, содержит в качестве убойных элементов стальные стержни, форма которых и способ снаряжения которыми видны на рисунке.

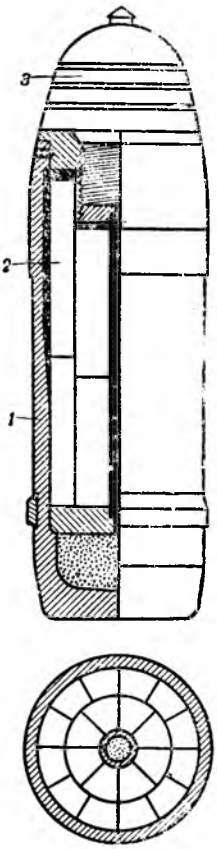


Рис. 91. Стержневая шрапнель:
1 — стакан; *2* — стержни; *3* — трубка

В зависимости от длины стержней эти шрапнели могут быть трех родов: со стержнями полной длины (P), половинной длины ($P/2$) и в одну четверть полной длины ($P/4$).

По числу и весу убойных элементов наиболее выгодной, с точки зрения поражающего действия, является шрапнель со стержнями половинной длины, содержащая 48 стержней, весом по 26—29 *г* каждый.

Палочная шрапнель системы Розенберга отличается от стержневой лишь устройством убойных элементов, которые представляют собой стальные трубки, залитые свинцом. В шрапнели помещается всего 18 палок, весом от 135 до 150 *г* каждая.

Ничтожное количество убойных элементов делает эту шрапнель неудовлетворительной.

Шрапнель с накидками системы Гартца (рис. 92) содержит в качестве убойных элементов так называемые накидки, представляющие собой попарно связанные короткими тросами стальные трубки, залитые свинцом. Такая шрапнель содержит 28 накидок, весом каждая по 85 *г*.

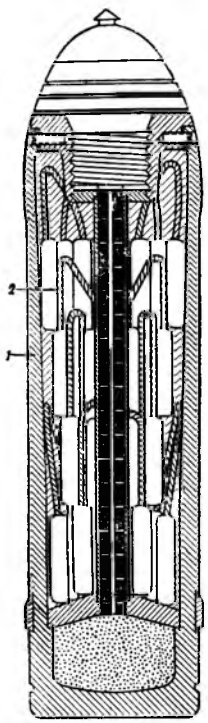


Рис. 92. Шрапнель с накидками:
1 — стакан; *2* — накидки

Шрапнель с накидками появилась во время войны 1914—1918 гг., когда самолеты имели много тяг и расчалок, перебивание которых выводило самолет из строя. При настоящем же уровне авиационной техники поражающее действие накидок по самолетам совершенно недостаточно, и потому сохранившийся запас таких шрап-

нелей может быть использован лишь для стрельбы по проволочным заграждениям на небольших дальностях.

Действие шрапнелей. Действие пулевых шрапнелей наиболее полно было исследовано в начале текущего столетия известным русским артиллеристом В. М. Трофимовым.

Действие шрапнели характеризуется:

а) скоростью, которую имеют пули в момент разрыва;

б) пробивной способностью пуль при разных дальностях стрельбы и при различных интервалах разрывов;

в) углом разлета пуль при разрыве;

г) законом распределения пуль на плоскости.

Суммарная скорость пули после разрыва шрапнели складывается из: 1) поступательной скорости снаряда в момент разрыва, 2) скорости, приобретаемой от вращательного движения снаряда, и 3) добавочной скорости, сообщаемой разрывным зарядом. Последняя скорость, в случае, когда стакан шрапнели остается целым, составляет (по опытам Трофимова) около 77 *м/сек*, а при разрыве стакана — примерно на 10% меньше. В результате сложения указанных трех скоростей пули летят по разным направлениям внутри конуса разлета, ось которого почти совпадает с касательной к траектории в точке разрыва. Угол при вершине 2ψ называется углом разлета пуль (рис. 93). Падая на местность, пули шрапнели рассеиваются на площади, величина которой зависит от интервала разрыва *l*, дальности стрельбы (угла падения), угла разлета пуль и наклона местности.

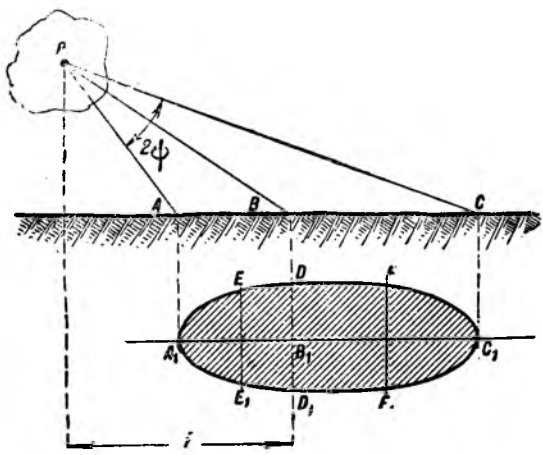


Рис. 93. Схема разлета шрапнельных пуль

При средних дальностях и нормальной высоте разрыва глубина поражаемой площади равна 150—200 *м*, а ширина — 20—25 *м* (при стрельбе из 76-*мм* пушки обр. 1902 г.).

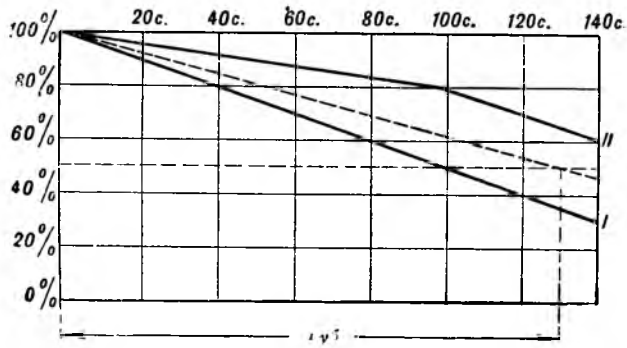


Рис. 94. График зависимости процента пуль, пробивших дюймовые доски и застрявших в досках, от интервала разрыва

Трофимов при своих опытах считал убойными все пули, пробившие дюймовую доску, и половину застрявших в ней. По результатам его опытов построены графики зависимости процента пробивших и застрявших в щитах пуль от интервала разрыва. Такой график для дальности 2 000 саж. представлен на рис. 94. Ломаная линия *I* графика выражает процент про-

бивших щиты пуль, ломаная *II* — процент пуль, пробивших и застрявших в щитах; пунктирная линия показывает процент пуль, принятых условно убойными, что позволяет легко определить убойный интервал $l_{уб}$ для данных условий стрельбы [1].

Величина убойного интервала при прочих равных условиях зависит от дальности стрельбы. Для шрапнели, выстреливаемой из 76-*мм* пушки обр. 1902 г., этот интервал колеблется от 320 *м* при дистанции 2 000 *м* до 280 *м* при дистанции 5 000 *м*.

Зависимость пробивной способности шрапнельных пуль от дальности и интервала разрыва представлена таблицей 51.

Таблица 51

Число пробивших, застрявших и отскочивших пуль 76-*мм* шрапнели в %

Интервал в *м*	Дальность в *м*					
	2 134			4 267		
	пробивших	застрявших	отскочивших	пробивших	застрявших	отскочивших
107	94	4	2	92	6	2
160	85	8	6	82	12	6
213	70	18	12	63	25	12
267	46	20	22	38	40	22
320	27	40	33	14	53	33

Данные таблицы показывают, что с увеличением интервала разрыва число убойных пуль уменьшается, причем влияние интервала разрыва сказывается значительно более резко, нежели влияние дальности.

Так как добавочные скорости, сообщаемые пулям разрывным зарядом, не зависят от дальности разрыва, а угловая и поступательная скорости снаряда с изменением дальности изменяются, то для шрапнели определенной конструкции можно считать, что угол разлета пуль 2ψ зависит только от дальности стрельбы.

Значения углов разлета для 76-*мм* шрапнелей при стрельбе из пушки обр. 1902 г. на различные дальности приведены в таблице 52.

Таблица 52

Величина угла разлета 2ψ пуль 76-*мм* шрапнели при стрельбе на различные дальности

Дальность в *м*	1 000	2 000	3 000	4 000	5 000
Угол 2ψ разлета	11°	13°	15°	16°	17°,5

Угол разлета пуль 2ψ можно приближенно подсчитать по формуле

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{\sqrt{v_н^2 + v_к^2}}{v_с + v_д},$$

где $v_н$ — определяемая опытным путем скорость пуль по нормали к оси снаряда;

$v_д$ — добавочная скорость пуль, вызываемая действием вышибного заряда в направлении оси снаряда;

$v_к$ — скорость пуль, прилегающих к стакану, вызываемая вращательным движением снаряда.

[1] Трофимов за убойный интервал принимал такой, на котором 50% пуль сохраняли убойную энергию.

Скорость $v_к$ определяется по формуле

$$v_к = 2\pi rN,$$

где r — расстояние от оси снаряда до центра тяжести пули;
N — число оборотов снаряда в 1 сек. в момент разрыва.

Пули шрапнели, как показывает опыт, распределяются неравномерно как на плоскости, перпендикулярной к оси конуса разлета пуль (см. рис. 95, на котором дано число пуль, приходящихся на единицу площади каждого кольца), так и на плоскости, наклонной к оси конуса (рис. 93). На последней пули ложатся в части ее DD_1A_1 кучнее, чем в части DD_1C_1. На некоторой полосе, ограниченной линиями, параллельными DD_1, например EE_1 и FF_1, пули ложатся еще достаточно кучно и на широком фронте; поэтому цель, покрытая полосой EE_1F_1F снопа пуль, будет поражена наиболее сильно, к чему и стремятся при стрельбе.

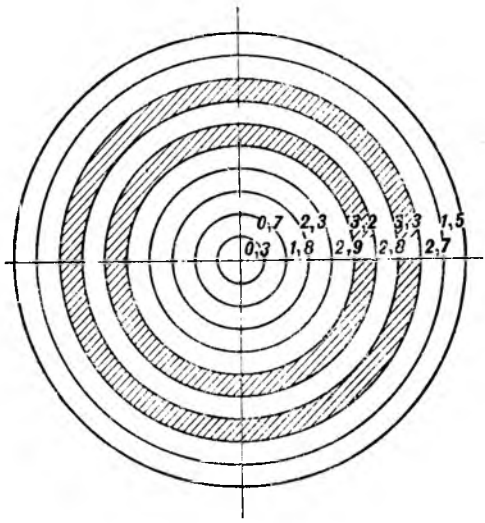


Рис. 95. Распределение шрапнельных пуль в щите, расположенном перпендикулярно к направлению траектории

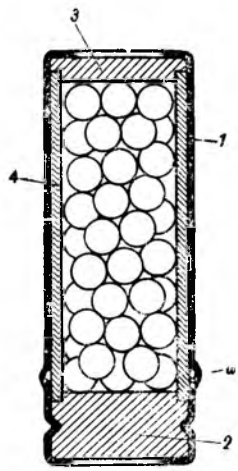


Рис. 96. Картечь:
1 — оболочка; *2* — дно; *3* — крышка; *4* — желоба; *а* — обод

4. Картечи. Картечь (рис. 96) представляет собой снаряд, состоящий из сферических пуль, которые заключены в цилиндрическую оболочку *1* из листового железа, закрытую с обоих концов поддоном *2* и крышкой *3*. Оболочку сваривают по шву. Для увеличения ее жесткости в нее вкладывают цилиндр, разрезанный по производящим на три части (желоба). На оболочке картечи выдавливают круговой обод *а*, служащий для фиксирования положения снаряда в канале ствола при заряжании.

При выстреле оболочка картечи под давлением пуль разворачивается в канале ствола, и пули вылетают из канала конусом с углом разлета 6—9°. Картечь назначается для поражения открытых живых целей на расстоянии до 400—500 *м* от орудия в зависимости от его калибра.

Усовершенствование шрапнели и появление трубок с установкой „на картечь" позволило отказаться от картечи, так как поражение, наносимое шрапнелью при этой установке, сравнительно мало уступало поражению, наносимому картечью.

В настоящее время картечь находит широкое применение в танковой и противотанковой артиллерии.

5. Осколочно-фугасные снаряды. Выгоды, получаемые от унификации снарядов в смысле упрощения питания в бою и удешевления производства, привели в настоящее время почти к полной замене в артиллерии средних калибров осколочных и фугасных снарядов осколочно-фугасными.

В настоящее время осколочно-фугасные снаряды составляют основную массу боекомплектов батарей, вооруженных орудиями средних калибров.

По своему устройству осколочно-фугасный снаряд (рис. 97) отличается от своих прототипов главным образом толщиной стенок оболочки, а следовательно, и относительными весами снаряда и разрывного заряда, представляя в этом отношении промежуточную группу между осколочными и фугасными снарядами.

Осколочно-фугасные снаряды обладают стенками толщиной в $^1/_7$—$^1/_8$ калибра и относительными весами: $C_q = 12$—14 и $C_{\omega_p} = 1{,}5$—$2{,}0$.

По своему внешнему очертанию осколочно-фугасные снаряды являются снарядами дальнобойного типа. Снаряжение их аналогично снаряжению фугасных и осколочных снарядов. Наиболее подходящим взрывателем для осколочно-фугасных снарядов является взрыватель с двумя-тремя установками. При установке такого взрывателя на мгновенное действие снаряд действует как осколочный, а при установке на инерционное или замедленное действие (в зависимости от условий стрельбы и характера грунта) — как осколочный или как фугасный.

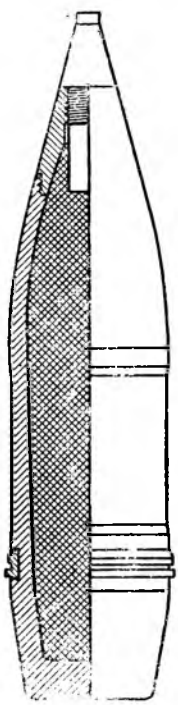


Рис. 97. Осколочно-фугасный снаряд

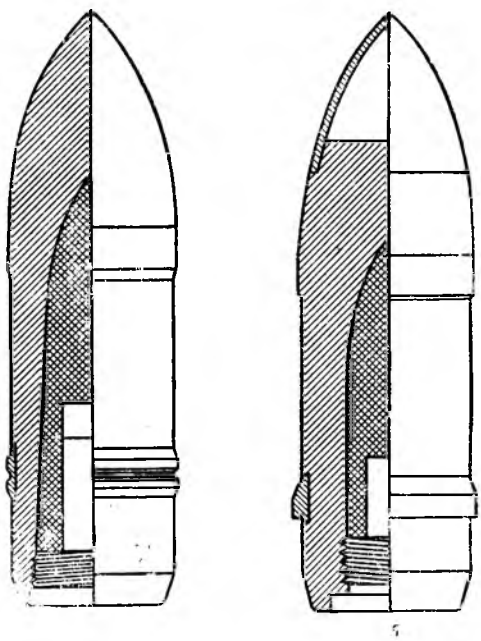


Рис. 98. Бронебойные снаряды

6. Бронебойные снаряды. До мировой войны 1914 — 1918 гг. бронебойные снаряды применялись только береговой и морской артиллерией. С развитием танков бронебойные снаряды получили широкое применение и в сухопутной артиллерии калибром до 77 *мм* включительно. В настоящее время, в связи с развитием железобетонных сооружений и бронебашенных установок, в системе УР (укрепленные районы) стало неизбежным применение в сухопутной артиллерии бронебойных снарядов средних и крупных калибров.

По своему устройству бронебойные снаряды сухопутной артиллерии (рис. 98) встречаются двух видов: без притупления (*а*) и с притуплением (*б*) головной части.

Отличительными особенностями конструкции бронебойных снарядов являются большая толщина стенок по сравнению со всеми остальными типами снарядов и массивность головной части. Для повышения прочности бронебойные снаряды делаются цельнокорпусными, из металла высоких механических качеств, а также с донным очком под взрыватель. Толщина

стенок бронебойных снарядов колеблется от $^1/_4$ до $^1/_3$ калибра, а относительные веса их выражаются следующими числами: $C_q = 16—24$ и $C_{\omega_p} = 0{,}2—0{,}3$.

Массивной конструкцией бронебойного снаряда обеспечивается прочность его при ударе о преграду и достигается увеличение пробивного действия.

Могущество действия бронебойного снаряда определяется живой силой в момент удара о броню:

$$\frac{qv_c^2}{2g}.$$

Это выражение показывает, что для повышения могущества бронебойного снаряда необходимо увеличивать его вес и скорость. Поэтому бронебойные снаряды применяются исключительно в пушках.

Головная часть снаряда делается иногда тупой для предупреждения соскальзывания снаряда с поверхности бронеплиты при углах встречи снаряда с плитой, отличных от 90° (рис. 99). В таких случаях для обеспечения необходимой удобообтекаемости снаряды снабжаются балистическим колпаком из штампованного железа (рис. 98, *б*). Бронебойные снаряды крупнокалиберной артиллерии, помимо балистического колпака, снабжаются еще бронебойным наконечником (рис. 100).

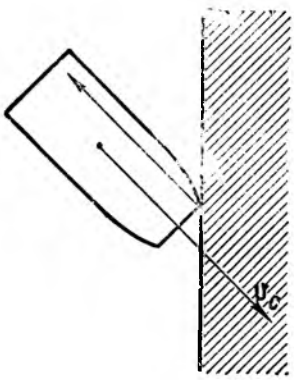


Рис. 99. Влияние притупления снаряда

Изобретение бронебойного наконечника адмиралом Макаровым (в конце прошлого столетия) позволило увеличить эффективность стрельбы по цементированным бронеплитам.

Бронебойный наконечник делают из металла, близкого по механическим качествам к металлу снаряда. При ударе о броню наконечник разрушает наружный, цементированный слой брони; при этом он сам разрушается и остается перед плитой, а пробивание остальной части плиты выполняется непосредственно оболочкой снаряда.

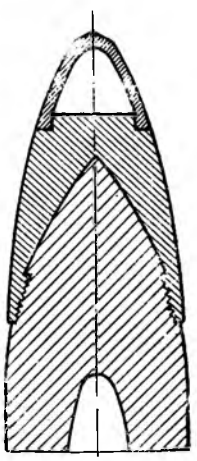


Рис. 100. Бронебойный и балистический наконечники крупнокалиберных снарядов

Основное требование, предъявляемое к бронебойным снарядам, — это пробить возможно толстую броню (не менее калибра) при угле между нормалью и преградой в 30°. Выполнение этого требования обеспечивает успешность борьбы артиллерии калибром до 76 *мм* включительно с подавляющим большинством современных танков.

При ударе в бронеплиту, вследствие огромных инерционных усилий, возникающих в разрывном заряде, может произойти преждевременный взрыв. Для предупреждения этого бронебойные снаряды снаряжаются главным образом флегматизированным тротилом или другими, более мощными ВВ (например ТЭН).

Бронебойный снаряд может дать необходимый эффект лишь при условии, если его взрыв произойдет после пробивания брони (внутри танка, каземата или башни), что требует применения взрывателей с соответственно подобранными замедлениями.

Действие бронебойных снарядов слагается из бронебойного, фугасного и осколочного действия. Бронебойное действие является частным случаем рассмотренного выше ударного действия снарядов, и потому остановимся лишь на его особенностях, зависящих в большой мере от специфических качеств брони как преграды.

Броня может быть нецементированной и цементированной. В первом случае остроголовый снаряд при пробивании брони вытесняет металл на передней поверхности плиты в виде кольцевого наплыва, а на задней — в виде наплыва или венчика с рваными краями (рис. 101). В этом случае снаряд прошивает броню, действуя наподобие иглы.

При ударе в цементированную броню снаряд должен прежде всего преодолеть наружный, самый твердый слой брони. В результате в момент встречи с броней возникают очень большие напряжения в головной части снаряда, ведущие к ее деформированию. В связи с этим головную часть бронебойных снарядов для повышения прочности часто делают с притуплением.

При достаточной прочности и живой силе снаряда из цементированной плиты в момент удара выбивается так называемая пробка, по диаметру близкая к калибру снаряда, а на наружной и внутренней поверхностях плиты происходят отколы металла (рис. 102). При излишней жесткости плиты или значительном превышении калибра снаряда над толщиной плиты пробоина может получить характер пролома (рис. 103).

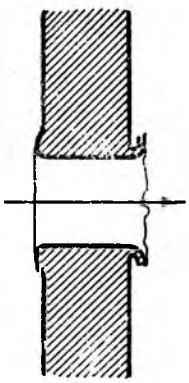


Рис. 101. Пробоина в нецементированной плите

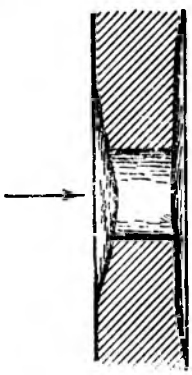


Рис. 102. Пробоина в цементированной плите

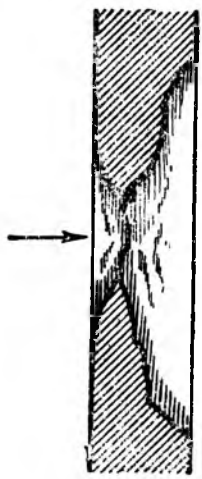


Рис. 103. Пробоина в жесткой плите

При ударе в нецементированную плиту тупоголовый снаряд также выбивает пробку, но отколов металла при этом не наблюдается.

Для решения ряда вопросов, связанных с бронебойным действием снарядов, обычно пользуются эмпирической формулой Жакоб де-Марра:

$$v_c = k \frac{d^{0,75}\, b^{0,7}}{q^{0,5} \cos \alpha},$$

где k — коэфициент, характеризующий броню и конструкцию снаряда; для цементированных плит в зависимости от их качеств $k = 2000 - 2400$ и для нецементированных $k = 1600 - 1900$;

b — толщина плиты в *дм*;

α — угол от нормали к преграде;

v_c — требуемая для пробивания брони скорость снаряда в момент удара в *м/сек*.

Формулой Жакоб де-Марра можно пользоваться лишь для достаточно близких между собой значений d и b.

В таблице 53 приводятся данные о пробивной способности 20-*мм* снарядов при стрельбе из противотанковой пушки системы Эрликон[1] при углах встречи 60°.

[1] Вес снаряда — 130 *г*, начальная скорость — 800 *м/сек*.

Таблица 53

Толщина пробиваемой брони при стрельбе из 20-*мм* пушки на разные дальности при углах встречи 60°

Дальность в *м*	Толщина пробиваемой брони в *мм*
1 200	12
1 000	16
700	**21**
500	24
300	31

Осколочное действие бронебойных снарядов малых калибров очень слабое вследствие малого веса металлической оболочки и главным образом вследствие незначительного количества ВВ, составляющего разрывной заряд. Однако взрыва такого снаряда внутри танка в большинстве случаев достаточно для вывода из строя его экипажа.

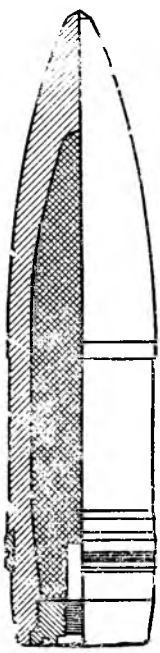


Рис. 104. Бетонобойный снаряд

7. Бетонобойные снаряды. Развитие бетонобойных снарядов относится главным образом к периоду, последовавшему за первой империалистической войной, когда прогресс фортификационной техники сделал возможным широкое применение бетонированных укрытий в условиях не только позиционной, но и маневренной войны, что подтверждается данными о последних войнах.

Борьба артиллерии с бетонированными огневыми точками и артиллерийскими позициями при помощи одних фугасных снарядов не может быть эффективной, так как при прямом попадании в такие сооружения фугасные снаряды разрушаются, не причиняя почти никакого вреда обстреливаемому объекту.

Это обстоятельство заставило ввести на вооружение артиллерии снаряды, обладающие прочностью, достаточной для действия по бетону, и по возможности мало уступающие фугасным снарядам по фугасному действию. Такие снаряды, получившие наименование бетонобойных, приобрели конструктивные особенности, которые характеризуют их как тип снарядов, промежуточный между бронебойными и фугасными (рис. 104).

Основные характеристики этих снарядов следующие: толщина стенок — $^1/_6$ — $^1/_8$ калибра;

$$C_q = 12 - 14;\ C_{\omega_p} = 1{,}5 - 2{,}0.$$

Наиболее рационально применение бетонобойных снарядов в орудиях калибров от 150 *мм* и выше, главным образом в гаубицах, благодаря навесности их траектории.

Снаряжение бетонобойных снарядов аналогично снаряжению фугасных, а в качестве взрывателей к ним могут быть применены лишь донные взрыватели с двумя-тремя установками на замедление.

Действие бетонобойных снарядов складывается из ударного и фугасного действия. Ударное действие по бетону таких снарядов, как и бронебойных, является лишь частным случаем ударного действия, рассмотренного выше.

Ударное действие по бетону в зависимости от живой силы снаряда и прочности преграды сопровождается либо пробиванием последней и разрывом снаряда за ней, либо проникание снаряда на некоторую глубину в бетон и разрывом в его толще.

При пробивании снарядом бетонной преграды можно различить следующие периоды его действия.

Первый период заключается в том, что снаряд, ударившись о поверхность бетонной преграды, производит деформации сжатия и сдвига материала преграды, в результате чего образуется входная откольная воронка (рис. 105). Воронки, получающиеся в бетоне, отличаются пологостью краев вследствие плохого сопротивления бетона сдвигу. При ударе от сотрясения могут произойти отколы внутренней поверхности сооружения (рис. 105). При дальнейшем движении снаряд образует цилиндрический проход, диаметром равный калибру снаряда.

Помимо перечисленных местных явлений, удар снаряда в бетонную преграду и следующий за ним взрыв приводят к образованию трещин и различных деформаций в частях сооружения, удаленных от пробоины, что ослабляет сооружение в целом и облегчает работу разрушения при последующих попаданиях снарядов.

При недостатке живой силы проникание снаряда в преграду завершается в первом или втором периоде его ударного действия. Пробивания преграды может не произойти, если взрыватель подействует раньше, чем снаряд израсходует всю живую силу. Это указывает на важность подбора соответствующего замедлителя для взрывателей таких снарядов.

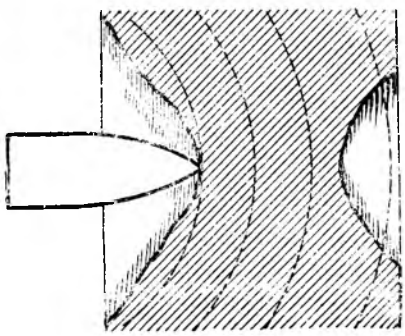


Рис. 105. Первый период проникания снаряда в бетон

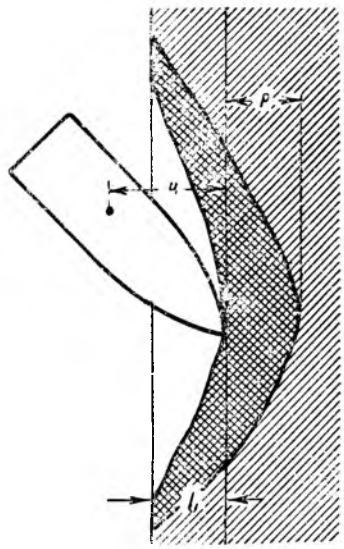


Рис. 106. Фугасное действие в бетоне

Глубину проникания снаряда в бетон можно подсчитать по приведенной выше березанской формуле, значение коэфициента k_n в которой в зависимости от качества бетона колеблется от 0,007 до 0,015.

Глубину воронки, получающейся в бетоне вследствие взрыва снаряда, можно подсчитать по эмпирической формуле Толлена:

$$p = k_{вз}\sqrt[3]{\omega} - ц,$$

где p — глубина воронки в *м*;

$k_{вз}$ — коэфициент, характеризующий свойства среды и колеблющийся для бетона от 0,13 до 0,21;

$ц$ — расстояние от центра тяжести разрывного заряда до поверхности преграды в *м* (рис. 106).

8. Химические и осколочно-химические снаряды. Химические снаряды предназначаются для поражения живой силы противника и для заражения участков местности отравляющими веществами.

Химические снаряды в современном понятии получили развитие в период мировой войны 1914 — 1918 гг.

Отравляющие вещества, удовлетворяющие требованиям боевого применения, весьма разнообразны по своим качествам. Так, по физико-химическим признакам все известные ОВ разделяют на стойкие и нестойкие. В основу этой классификации положена продолжительность действия объемной единицы ОВ на местности. Как показывает опыт, последнее зависит не только от физических и химических свойств ОВ, но и от ряда внешних условий — температуры, влажности воздуха, скорости ветра, грунта и растительности.

К нестойким относятся ОВ, применяемые для создания газового или дымового облака кратковременного действия (от нескольких минут до нескольких часов). Основными представителями таких ОВ являются: хлор, фосген, дифосген, адамсит, хлорпикрин, синильная кислота и др.

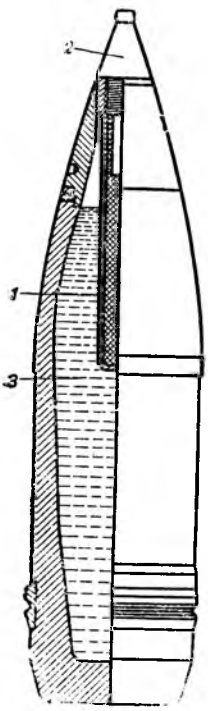


Рис. 107. Химический снаряд:

1 — запальный стакан; *2* — взрыватель; *3* — ОВ

К стойким ОВ относятся малолетучие жидкости, служащие главным образом для заражения местности, с тем чтобы сделать ее недоступной для противника. Время действия таких ОВ колеблется от нескольких часов до нескольких недель и даже месяцев. Основными представителями стойких ОВ являются: иприт, люизит и бромбензилцианид.

На рис. 107 приведена наиболее распространенная конструкция химического снаряда, снаряженного нестойким ОВ. Снаряд состоит из корпуса фугасного снаряда, в который ввинчен запальный стакан *1* с небольшим разрывным зарядом и взрывателем *2*. Свободная часть внутренней полости снаряда на 90 — 95% заполнена отравляющим веществом.

Для предупреждения просачивания ОВ наружу стыки корпуса, головки и запального стакана закатывают и чеканят, а иногда и пропаивают. Помимо этого, нарезку деталей перед сборкой смазывают магнезиальной замазкой. Герметичность снарядных оболочек проверяют на заводах давлением в несколько десятков атмосфер. ОВ снаряжают через головное очко или через специальное отверстие в цилиндрической части или в дне снаряда, закрываемое нарезной пробкой.

Наибольший коэфициент наполнения ОВ обеспечивается использованием оболочек фугасных снарядов.

Химические снаряды применяются почти исключительно в орудиях средних калибров. К химическим снарядам назначаются взрыватели мгновенного действия. При ударе в преграду взрыватель совместно с разрывным зарядом производит лишь вскрытие оболочки снаряда и освобождение ОВ. Вследствие этого химические снаряды осколочным действием не обладают.

Большим недостатком снарядов подобного устройства является потеря значительной части ОВ, уходящей в землю. Для усиления разбрызгивания стойкого ОВ увеличивают разрывной заряд.

Действие химических снарядов в сильной степени зависит от условий местности и погоды. Наиболее благоприятными условиями являются: расположение цели в ложбине, теплая безветренная погода, сухой грунт и густая растительность.

Осколочно-химические снаряды объединяют в себе свойства снарядов осколочного и химического действия. Для изготовления этих снарядов могут быть использованы оболочки осколочно-фугасных снарядов, которые снаряжаются небольшим количеством ОВ и разрывным зарядом, обеспечивающим хорошее осколочное действие снаряда.

В случае применения химических средств борьбы осколочно-химические снаряды должны получить самое широкое распространение в артиллерии средних калибров.

9. Зажигательные снаряды. Все снаряды основного назначения обладают в различной степени зажигательной способностью, однако для стрельбы по целям, зажжение которых может дать больший боевой эффект, нежели поражение осколками или взрывной волной, целесообразно применять специальные зажигательные снаряды.

Во время мировой войны 1914—1918 гг. наибольшее распространение для орудий средних калибров получили зажигательные снаряды дистанционного действия (рис. 108).

Конструктивно и по характеру разрыва этот снаряд сходен с шрапнелью. Вместо пуль свободный объем оболочки между диафрагмой и головкой заполняется уложенными в несколько рядов „сегментами"; каждый сегмент представляет собой оболочку из листового железа, заполненную зажигательным составом. В качестве зажигательного состава чаще всего применяют термитный состав (смесь из 50% термита[1] с 50% горючего). Для воспламенения этого состава в каждый сегмент запрессовываются воспламенительный состав и стопин. Центральной трубки в снаряде нет, и луч огня от дистанционной трубки передается вышибному заряду через желобки сегментов. Концы стопинов укладывают в эти желобки.

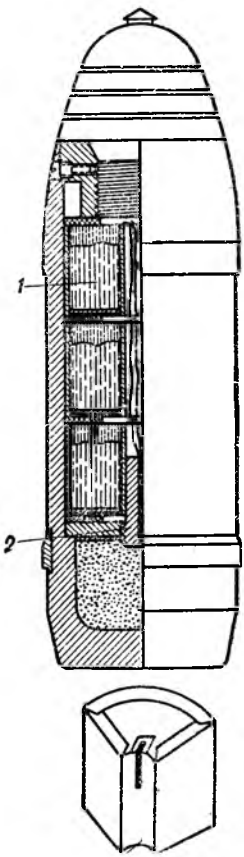


Рис. 108. Зажигательный снаряд:

1 — зажигательные сегменты; *2* — втулка замедлителя

В отличие от шрапнели, зажигательный снаряд снабжен втулкой с запрессованным в нее черным порохом. Этот порох служит для замедления передачи огня вышибному заряду, для того чтобы зажигательный состав разгорелся до разрыва снаряда. На полете снаряда огонь от дистанционной трубки передается через центральный канал, образованный сегментами, пороховому замедлителю. При этом воспламеняются стопины сегментов, и через них огонь сообщается зажигательному составу. После сгорания замедлителя огонь передается вышибному заряду, давлением газов которого содержимое снаряда выбрасывается вперед с некоторой добавочной скоростью. Из-за отсутствия центральной трубки срыв головки производится сегментами, для облегчения чего головки этих снарядов не имеют нарезки и удерживаются только стопорными винтами.

Сегменты обладают достаточной живой силой, чтобы врезаться в дерево на глубину до 10 *см*; зажигательный состав при горении развивает температуру 2500—3000° С.

5. Снаряды специального назначения

1. Осветительные снаряды. Осветительные снаряды предназначаются для освещения местности в ночное время и применяются в гаубицах 120—155-*мм* калибра. Все современные осветительные снаряды — дистанционного действия, с выбрасыванием осветительных звездок вперед, в направлении полета снаряда, или назад. Снаряды последнего типа обладают значительными преимуществами по сравнению с первыми.

На рис. 109 показан второй тип снаряда английского образца. Для приведения снаряда в действие служит дистанционная трубка *11*, огонь из которой во время полета снаряда передается вышибному заряду и через отверстия в диафрагме — осветительному составу звездки. Давление газов вышибного заряда через звездку и полуцилиндры передается дну.

[1] Термит — смесь из 22—25% порошка алюминия с 78—75% окиси железа.

В результате шпильки, удерживающие его, срезаются, и вся сборка вылетает в направлении, обратном движению снаряда. По вылете сборки полуцилиндры разлетаются и освобождают парашют, который, раскрывшись, обеспечивает медленное падение горящей звездки на землю (рис. 110). Вертлюг звездки предупреждает скручивание строп после раскрытия парашюта.

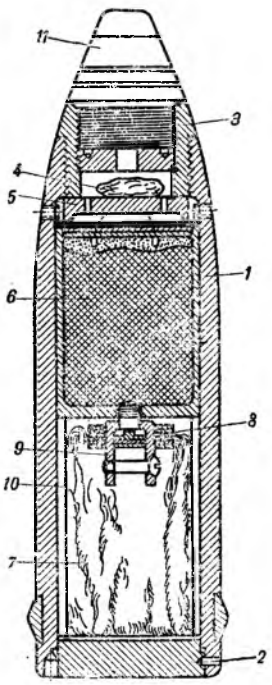


Рис. 109. Осветительный снаряд:

1 — стакэн; *2* — шпильки; *3* — головка; *4* — вышибной заряд; *5* — диафрагма; *6* — звездка; *7* — парашют; *8* — стропы; *9* — вертлюг; *10* — полуцилиндры; *11* — дистанционная трубка

Для получения требуемой степени и продолжительности освещения местности разрыв снаряда необходимо производить на высоте 300—400 *м* от земли.

В зависимости от конструкции снаряда и осветительного состава звездки продолжительность освещения колеблется от 30 до 60 секунд; при этом освещается район 500—1 000 *м* в диаметре.

Для приготовления осветительного состава служат азотнокислый барий, алюминий или магний в порошке, олифа и пороховая мякоть.

2. Дымовые снаряды. Дымовые снаряды предназначаются для ослепления наблюдательных пунктов и огневых точек противника и для целеуказания.

По своему устройству и действию они сходны с химическими снарядами, снаряженными нестойким ОВ (рис. 107). В отличие от последних, дымовые снаряды снаряжаются дымообразующими веществами (ДВ) (белый фосфор, трехокись серы, олеум и др.).

Белый фосфор способен самовозгораться на воздухе, образуя при этом малолетучие продукты окисления, которые конденсируются в густой белый дым. С точки зрения дымообразования белый фосфор является лучшим ДВ для артиллерийских снарядов.

Трехокись серы SO_3 обладает высокой летучестью и гигроскопичностью, что и обусловливает ее дымообразующие свойства. При взрыве снаряда, снаряженного трехокисью серы, происходит распыление последней и соединение ее с влагой воздуха, в результате чего образуется густой белый туман из взвешенных капель серной кислоты.

Олеум представляет раствор трехокиси серы в безводной серной кислоте и потому по своим дымообразующим свойствам сходен с трехокисью серы.

Сравнительные качества этих ДВ могут быть оценены следующим образом:

белый фосфор	100
трехокись серы	60—75

Рис. 110. Парашют со звездкой

3. Агитационные снаряды. Этот вид снарядов предназначается для переброски в расположение противника агитационных листовок. Устройство современного агитационного снаряда дистанционного действия показано на рис. 111.

Литературу заключают в два металлических полуцилиндра, которые выбрасываются назад при взрыве вышибного заряда. После раскрытия полуцилиндров литература разлетается в стороны.

Однако на сегодняшний день такой способ обеспечения агитации среди противника нельзя признать ни достаточным, ни экономичным. В отношении разбрасывания листовок почти неограниченные возможности

имеет авиация, без затраты сравнительно дорого стоящих артиллерийских выстрелов.

Первые дни войны 1939 г. Германии с Францией и Англией показали, что это свойство авиации широко используется. Английские, французские и германские самолеты сбросили миллионы листовок в глубоком тылу противника.

Война 1936—1939 гг. в Испании показала, что в позиционных условиях для агитации с успехом могут быть использованы мощные громкоговорители.

Все это позволяет считать, что применение артиллерией агитационных снарядов будет являться не правилом, а исключением.

4. Трассирующие снаряды. Трассирующие снаряды предназначаются для облегчения пристрелки по быстродвижущимся воздушным и наземным целям. Свое назначение трассирующие снаряды выполняют благодаря оставляемому ими в полете огненному или дымовому следу, который позволяет стреляющему видеть траекторию снаряда.

Рис. 111. Агитационный снаряд

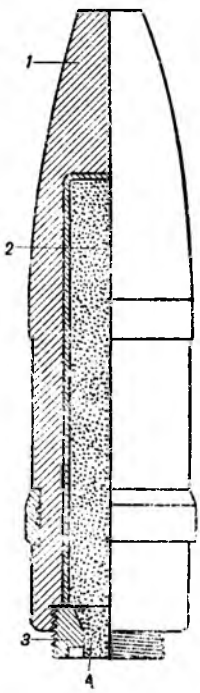


Рис. 112. Трассирующий снаряд:
1 — оболочка; *2* — трассирующий состав; *3* — втулка; *4* — воспламенительный состав

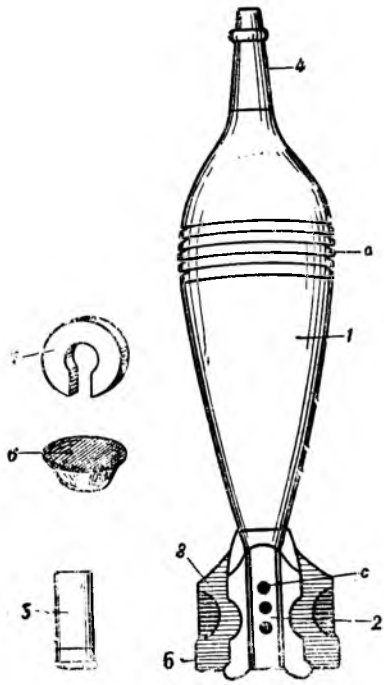


Рис. 113. Мина:
1 — корпус; *2* — стержень; *3* — стабилизатор; *4* — взрыватель; *5* — гильза с основным зарядом; *6* и *7* — дополнительные заряды

Трассирующий снаряд (рис. 112) содержит запрессованный в оболочку *1* трассирующий состав *2* и в специальной втулке *3* воспламенительный состав *4*, загорающийся при выстреле от газов боевого заряда.

Ничтожная поражающая способность снарядов трассирующего типа ограничивает их применение самыми малыми калибрами. В калибрах от 20 *мм* и выше применяются главным образом снаряды смешанного типа: осколочно-трассирующие и бронебойно-трассирующие.

6. Особенности устройства мин

Мины представляют собой снаряды гладкостенных орудий ближнего боя (минометов), снабженные оперением для обеспечения устойчивости в полете.

Мина, изображенная на рис. 113, имеет корпус *1* каплеобразной формы с навинченным на него пустотелым стержнем *2*, снабженным стабилизатором *3*. Для центрования мины в канале миномета служит цилиндрическая часть мины *a* и выступы *b* стабилизатора. На цилиндрической части мины проточены кольцевые канавки для уменьшения прорыва пороховых газов при выстреле.

В минах применяются только головные взрыватели. В полость стержня вставляется гильза *5*, содержащая основной заряд. Дополнительный заряд в футлярчиках из нитропленки обычно располагается между перьями стабилизатора *3* или надевается на мину впереди стабилизатора. Заряжание миномета производится с дула. При этом мина опускается под действием собственного веса вниз и ударяется капсюлем основного заряда о боек миномета, вследствие чего происходит воспламенение основного заряда. Газы заряда прорывают картонные стенки гильзы и через отверстия *c* в стержне воспламеняют дополнительный заряд. Гильза основного заряда остается при выстреле в стержне стабилизатора, благодаря чему миномет всегда готов для следующего заряжания немедленно после выстрела.

Наибольшее распространение во всех армиях имеют фугасные, осколочные и дымовые мины, внутреннее устройство которых аналогично устройству снарядов.

7. Основные расчеты снарядов

1. Расчет прочности оболочки снаряда и разрывного заряда при выстреле. При движении снаряда по каналу ствола во всех его частях под влиянием поступательного и углового ускорений возникают силы инерции, вызывающие давление одних частей снаряда на другие. Напряжения, возникающие при этом в оболочке снаряда и разрывном заряде, достигают своего наибольшего значения в момент максимального давления в канале ствола.

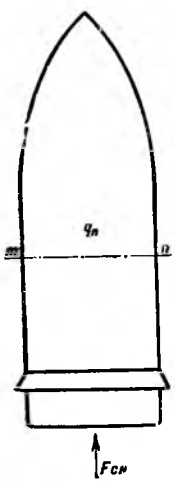


Рис. 114

Для обеспечения прочности оболочки снаряда и стойкости разрывного заряда необходимо, чтобы возникающие в них напряжения при выстреле не превосходили допустимых напряжений.

Прочность оболочки и стойкость разрывного заряда рассчитываются при учете лишь одного поступательного ускорения снаряда, причем за расчетное давление на дно снаряда принимают:

$$p_{сн} = 1{,}1\, p_{max}.$$

При этом условии наибольшая сила, действующая на дно снаряда, будет:

$$F_{сн} = p_{сн} \frac{\pi d^2}{4}.$$

Чтобы исследовать, каким образом влияет поступательное ускорение, приобретаемое снарядом, на отдельные элементы снаряда, разделим его (рис. 114) сечением mn на две части и обозначим вес передней части снаряда через $q_п$.

При выстреле передняя часть снаряда будет давить на нижнюю с силой $\vec{F}$, пропорциональной ускорению снаряда $\frac{dv}{dt}$, т. е.

$$F = \frac{q_п}{g} \cdot \frac{dv}{dt}.$$

Если не учитывать сравнительно небольшую затрату энергии пороховых газов на приведение снаряда во вращательное движение и на трение в канале ствола, то ускорение снаряда в момент достижения p_{max} можно выразить следующим образом:

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_{max} = \frac{F_{сн}}{q} g = \frac{p_{сн} g}{q} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \text{ и } F = \frac{p_{сн} q_п}{q} \cdot \frac{\pi d^2}{4}.$$

Если снаряжение снаряда не влияет на его прочность при выстреле, то сила F равномерно распределится по кольцевой площади сечения оболочки, и напряжение в рассматриваемом сечении снаряда будет:

$$\sigma = \frac{p_{\text{сн}}\, q_{\text{п}}}{q} \cdot \frac{d^2}{4\,(R^2 - r^2)},$$

где R — наружный и r — внутренний радиусы оболочки в рассматриваемом сечении.

Практически опасное сечение оболочки снаряда чаще всего оказывается в области ведущего пояска (рис. 115) или ниже, так как нагрузка на поперечные сечения возрастает с удалением от вершины снаряда. В связи с этим толщину стенок большинства снарядов увеличивают постепенно или ступенями от головной части к дну. Совершенно наоборот поступают лишь в бронебойных и бетонобойных снарядах, так как возникающие в них напряжения при ударе в преграду больше, нежели при выстреле.

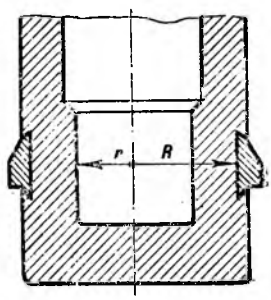


Рис. 115

Приведенный расчет прочности стенок снарядов полностью применим к снарядам зажигательным, осветительным, агитационным, стержневым шрапнелям и т. д. Расчет снарядов, снаряжение которых (ВВ, ОВ, ДВ) влияет на прочность оболочки при выстреле, значительно сложнее и рассматривается в специальных курсах.

Для подсчета напряжений, возникающих при выстреле в разрывном заряде снаряда, разделим, как и в первом случае, снаряд (рис. 116) сечением mn на две части и обозначим через $\omega_{\text{п}}$ вес заряда, лежащий впереди рассматриваемого сечения. Тогда сила, с которой давит эта часть заряда в сечении mn, будет:

$$F_{\omega} = \frac{p_{\text{сн}}\,\omega_{\text{п}}}{q} \cdot \frac{\pi d^2}{4}.$$

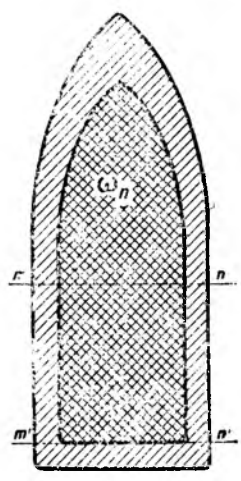


Рис. 116

Наиболее опасным сечением в заряде, естественно, будет сечение $m'n'$, для которого

$$F_{\omega} = \frac{p_{\text{сн}}\,\omega_{\text{р}}}{q} \cdot \frac{\pi d^2}{4},$$

где $\omega_{\text{р}}$ — вес всего разрывного заряда.

Напряжение, возникающее в разрывном заряде в сечении $m'n'$, будет:

$$\sigma_{\omega} = \frac{F_{\omega}}{\pi r^2} = \frac{p_{\text{сн}}\,\omega_{\text{р}}}{q} \cdot \frac{d^2}{4r^2}.$$

Наибольшие допустимые значения σ_{ω} зависят от рода ВВ. Допустимые σ_{ω} для некоторых ВВ:

черный порох	150 *кг/см²*
мелинит	500 „
тротил	900 „
аматол	1 000 „

В случае превышения допустимых значений σ_{ω} необходимо либо выбрать более стойкое ВВ, либо уменьшить вес разрывного заряда,

лежащего над рассматриваемым сечением. В последнем случае иногда прибегают к разделению внутренней каморы снаряда на несколько частей поперечными диафрагмами. Наиболее рациональным средством повышения стойкости разрывного заряда при выстреле является его флегматизация.

2. Расчет ведущей части снаряда. Ведущая часть снаряда состоит из одного или двух центрующих утолщений и ведущих поясков.

Центрующие утолщения предназначаются для центрования и правильного ведения снаряда по каналу ствола, а ведущие пояски—для придания снаряду вращательного движения, обтюрации и фиксации положения снаряда в канале ствола при заряжании.

При врезании ведущего пояска в нарезы на пояске образуются выступы и углубления, выдавливаемые в нем полями нарезов. Снаряд получает требуемое вращательное движение в канале ствола лишь при условии, если выступы пояска выдерживают давление на них боевых граней нарезов.

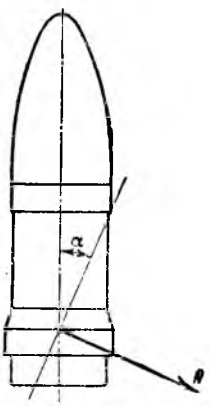


Рис. 117

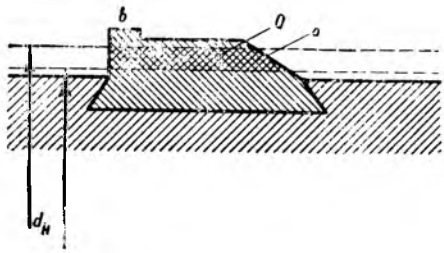


Рис. 118. Разрез пояска

Давление между выступами ведущего пояска и боевыми гранями нарезов при нарезах постоянной крутизны можно подсчитать по формуле (рис. 117)

$$N = \lambda \frac{p_{\text{сн}}}{n} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \operatorname{tg} \alpha,$$

где N — нормальное давление боевой грани одного нареза на выступ пояска;

n — число нарезов;

α — крутизна нарезов;

λ — коэфициент, который в зависимости от типа снаряда колеблется в пределах 0,48—0,68.

Как показывает опыт, нагрузка на выступ ведущего пояска из красной меди не должна превышать 2 500 — 3 500 *кг/см*^{2}, т. е.

$$\sigma = \frac{N}{Q} \leqslant 2\,500 \text{ до } 3\,500 \ \ кг/см^2,$$

где Q — площадь рабочей стороны выступа ведущего пояска (рис. 118).

Если это неравенство не удовлетворяется, необходимо сделать поясок шире. Если же требуемая ширина превосходит 25 *мм* для снарядов малых и средних калибров и 30 *мм* для снарядов крупных калибров, то необходимо проектировать снаряд с двумя ведущими поясками.

Формы сечений ведущих поясков, встречающихся в практике, довольно разнообразны. Обычно они имеют обточенную на конус переднюю часть *a* (рис. 118) и иногда снабжаются так называемым буртиком *b*. Однако образующаяся от буртика, после врезания в нарезы, „бахрома" отрицательно влияет на полет снаряда, вследствие чего от буртика на ведущем пояске сейчас отказываются. Для обеспечения сцепления пояска с корпусом снаряда дно канавки под поясок в стенках снаряда делается ребристым (накатывается).

ГЛАВА III

ТРУБКИ И ВЗРЫВАТЕЛИ

1. Общие принципы устройства трубок и взрывателей

Трубки и взрыватели представляют собой механизмы, предназначенные для сообщения начального взрывного импульса вышибному или разрывному заряду снаряда в требуемой точке траектории [1].

Своевременность взрыва снаряда на траектории, а также полнота и характер взрыва зависят от действия взрывателя или трубки. Недостаточно мощный начальный импульс приводит к так называемому неполному взрыву снаряда, при котором значительная часть, а иногда и вся масса ВВ не детонирует, что резко понижает эффективность действия снаряда.

Для обеспечения своевременности взрыва трубки и взрыватели в зависимости от назначения снабжаются дистанционными или ударными механизмами, позволяющими производить разрыв снаряда на полете или после удара в преграду как мгновенно, так и с замедлением.

Трубки и взрыватели, предназначенные для взрыва снарядов на полете, до встречи снаряда с преградой, называются дистанционными и применяются в шрапнелях, в зажигательных, осветительных, агитационных снарядах и в дистанционных осколочных гранатах.

Трубки и взрыватели, предназначенные для разрыва снарядов после удара в преграду, называются ударными и применяются в снарядах фугасных, осколочно-фугасных, бронебойных, бетонобойных, химических, дымовых и в осколочных гранатах ударного действия.

Трубки отличаются от взрывателей назначением и характером огневой цепи.

Трубка имеет в своей огневой цепи капсюль-воспламенитель, действие которого дополняется пороховым усилителем и в случае надобности замедляется пороховым замедлителем. В результате этого трубка может давать только луч огня, способный воспламенить порох, что в основном и определяет ее назначение.

Трубки могут быть как ударными, так и дистанционными. Однако ввиду того что все современные снаряды ударного действия снаряжаются взрывчатыми веществами, требующими для вызова взрыва не луча огня, а детонации, ударные трубки сейчас применения почти не имеют. Наименование же ударных трубок сохранилось лишь за некоторыми устарелыми образцами периода мировой войны 1914—1918 гг.

Дистанционные трубки, служащие для взрыва вышибного заряда шрапнелей, зажигательных, осветительных и других снарядов, имеют в настоящее время широкое применение.

Объединением в одной трубке механизмов ударного и дистанционного действия получают трубку двойного действия.

Взрыватель в общем случае содержит в огневой цепи: капсюль-воспламенитель, капсюль-детонатор и детонатор для вызова детонации ВВ.

В зависимости от назначения ударного взрывателя на пути луча огня от капсюля-воспламенителя к капсюлю-детонатору может быть поставлен пороховой усилитель или замедлитель. В первом случае взрыватель будет действовать без замедления, во втором—с замедлением.

Во взрывателях с несколькими установками в огневой цепи содержатся пороховые усилитель и замедлитель, один из которых включается в огневую цепь перед заряжанием орудия при помощи установочного механизма взрывателя.

---

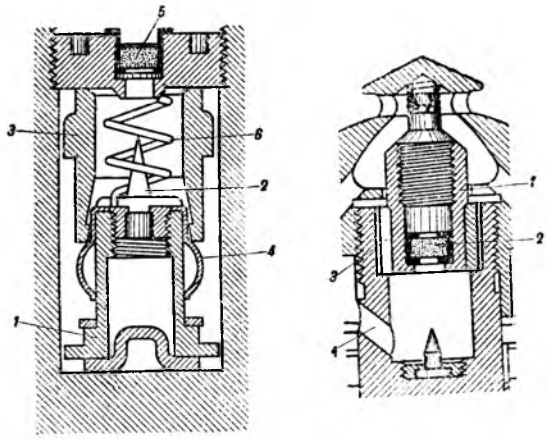
[1] Под траекторией здесь понимается путь снаряда не только в воздухе, но и в преграде.

В современной артиллерии применяют как ударные, так и дистанционные взрыватели.

Для обеспечения безопасности в обращении, т. е. при хранении, перевозке, подготовке к стрельбе и т. д., все трубки и взрыватели снабжаются предохранителями, имеющими назначение удерживать на месте до выстрела те детали, от которых зависит действие трубок и взрывателей.

По своему устройству предохранители бывают жесткие и пружинные[1].

При выстреле происходит взведение трубок и взрывателей, которое состоит в том, что предохранители деформируются под влиянием сил инерции, возникающих в деталях трубок и взрывателей при выстреле, и тем самым освобождают удерживаемые ими детали. В зависимости от характера действующих сил предохранители принято разделять на инерционные и центробежные.



а *б*

Рис. 119. Механизмы с жесткими предохранителями:

а. *1* — ударник; *2* — жало; *3* — разгибатель; *4* — лапчатый предохранитель; *5* — капсюль-воспламенитель; *6* — контрпредохранительная пружина.

б. *1* — ударник; *2* — капсюль-воспламенитель; *3* — предохранительное кольцо; *4* — передаточное отверстие.

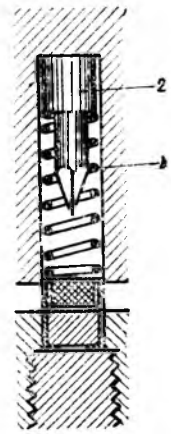


Рис. 120. Механизм с пружинным предохранителем:

1 — предохранительная пружина; *2* — ударник

Жесткие предохранители бывают только инерционного действия, а их конструктивное оформление может быть самым разнообразным. Встречаются жесткие предохранители в виде чеки, разрезного кольца, пластинчатых лапок различной формы и т. д.

На рис. 119 приведены два механизма с предохранителями в виде лапок (*4*, рис. 119, *а*) и в виде разрезного кольца (*3*, рис. 119, *б*). Первый механизм принадлежит ударному взрывателю. До выстрела ударник *1* с жалом *2* и разгибатель *3* удерживаются от взаимного перемещения лапчатым предохранителем *4*. Этим предупреждается возможность накола жала на капсюль *5* в условиях служебного обращения.

При выстреле, когда снаряд движется по каналу ствола (на рис. 119 — вверх), разгибатель по инерции смещается (на рисунке—вниз), разгибает лапки предохранителя и сцепляется с ударником при помощи лапок. После этого ударник удерживается лишь слабой пружинкой *6* для предупреждения его продвижения относительно трубки вследствие тормозящего действия сопротивления воздуха. При встрече с преградой снаряд получает отрицательное ускорение; ударник по инерции перемещается вперед и производит накол капсюля жалом.

[1] Сравнительно редко применяются еще пороховые предохранители.

Механизм, изображенный на рис. 119, *б*, принадлежит дистанционной трубке. Он состоит из дистанционного ударника *1* с капсюлем *2*. Ударник удерживается разрезным кольцом *3* от перемещения в сторону жала, неподвижно укрепленного в трубке. При смещении снаряда в канале ствола ударник, оседая по инерции вниз, раздвигает разрезное кольцо и производит накол капсюля на жало, пламя которого передается через отверстие *4* дистанционному составу трубки.

Пружинные предохранители могут быть как инерционными, так и центробежными.

Инерционный предохранитель механизма дистанционной трубки приведен на рис. 120. В условиях служебного обращения пружина *1* удерживает ударник *2*. При выстреле ударник по инерции сжимает пружину и производит накол жала на капсюль.

Центробежный предохранитель ударного взрывателя приведен на рис. 121. Здесь ударник *1* удерживается двумя стопорами *2* с пружинами *3*. При выстреле снаряд получает вращательное движение, вследствие чего стопоры под действием центробежной силы расходятся в стороны, сжимая пружины, и освобождают ударник.

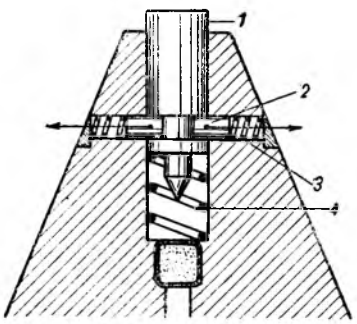


Рис. 121. Механизм с центробежными предохранителями:

1 — ударник; *2* — центробежные стопоры; *3* — предохранительные пружины; *4* — контрпредохранительная пружина

Чтобы в ударных взрывателях не произошло накола капсюля на жало в полете снаряда вследствие тормозящего действия силы сопротивления воздуха, ударники после взведения удерживаются контрпредохранителями пружинного или жесткого типа, обладающими незначительным, по сравнению с предохранителями, сопротивлением. Делаются контрпредохранители слабыми потому, что ускорение силы сопротивления воздуха невелико и силы, действующие на детали трубок, будут также невелики. Такие контрпредохранители в виде винтовых пружин представлены на рис. 119 (*б*) и 121 (*4*).

Безопасность взрывателей при выстреле обеспечивается как конструкцией механизмов, так и применением капсюлей, стойких к сотрясению при выстреле, и специальных устройств, изолирующих капсюли от детонатора.

2. Классификация трубок и взрывателей

Классификация трубок и взрывателей, как механизмов довольно сложных и разнообразных по своему устройству и действию, может быть произведена по различным признакам, из которых остановимся лишь на самых основных.

По способу действия трубки и взрыватели, как уже было указано раньше, делятся на дистанционные и ударные, а по месту соединения со снарядом — на донные и головные.

1. Дистанционные трубки и взрыватели. Дистанционные трубки и взрыватели бывают пороховые и механические.

В огневой цепи пороховых дистанционных трубок (рис. 122 и 123) между капсюлем-воспламенителем *1* и пороховым усилителем *3* помещается дистанционный состав *2* из сильно спрессованного трубочного пороха. Этот порох запрессован в желобки дистанционных колец *4* и *5* (рис. 123 и 124), которые имеют передаточное отверстие *а* и перемычку *b*. Горение дистанционного состава должно происходить поперечными параллельными слоями с постоянной скоростью (для обычного трубочного пороха —1 *см/сек* при нормальном атмосферном давлении). Следовательно, длина сгоревшего состава определяет время, протекшее от момента выстрела до момента передачи огня внутрь снаряда и его разрыва. Изменение длины дистан-

ционного состава, участвующего в передаче огня от капсюля-воспламенителя в пороховую петарду, производится поворотом дистанционного кольца *5* (рис. 123).

Действие такой трубки заключается в следующем. При выстреле снаряд и трубка приобретают ускорение. Ударник *6* оседает по инерции

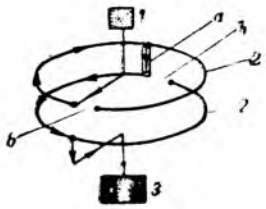
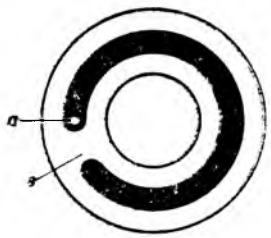


Рис. 122. Схема огневой цепи дистанционной трубки:

1 — капсюль-воспламенитель; *2* — дистанционный состав; *3* — пороховая петарда (усилитель); *а* — передаточное отверстие; *b* — перемычка кольца



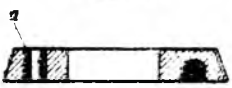


Рис. 124. Дистанционное кольцо:

а — передаточное отверстие; *в* — перемычка

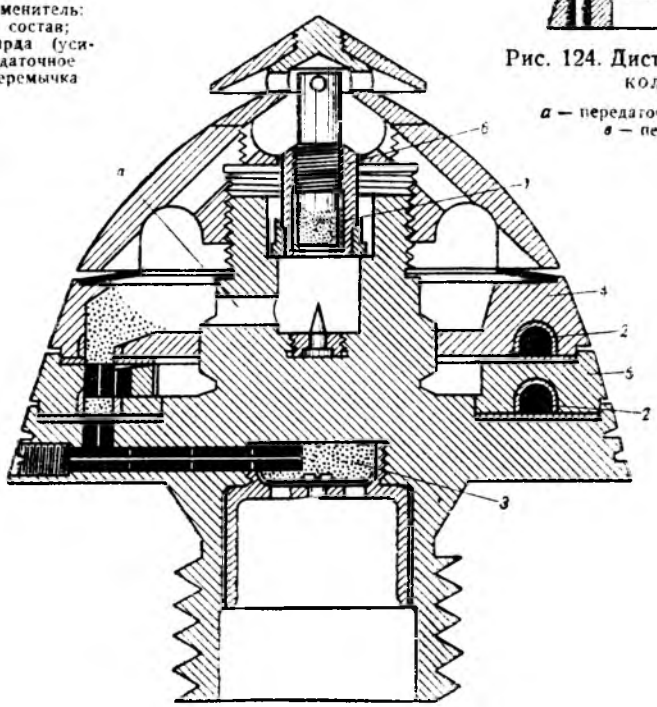


Рис. 123. Дистанционная трубка:

1 — капсюль-воспламенитель; *2* — дистанционный состав; *3* — пороховая петарда; *4* — верхнее (неподвижное) дистанционное кольцо; *5* — нижнее (подвижное) дистанционное кольцо; *6* — ударник

вниз и производит накол капсюля; огонь от капсюля через отверстие *а* передается дистанционному составу верхнего кольца. Дойдя до передаточного отверстия в этом кольце, огонь переходит в нижнее дистанционное кольцо и далее по соединительному каналу в пороховую петарду *3* (рис. 122 и 123) и в вышибной заряд, вследствие чего происходит взрыв вышибного заряда и разрыв снаряда в воздухе на желаемой дальности.

В механических дистанционных трубках время от момента выстрела до момента разрыва определяется часовым механизмом трубки.

Механические трубки более совершенны и превосходят по точности действия пороховые трубки. Однако они сложны и дороги и потому находят пока ограниченное применение, главным образом в зенитной артиллерии, где применение пороховых трубок встречает затруднение вследствие зависимости скорости горения пороха от высоты полета

(от уменьшения давления). Механические трубки находят применение также для наземной стрельбы, преимущественно на большие дальности.

Дистанционные трубки и взрыватели бывают только головные.

2. **Ударные взрыватели.** Ударные взрыватели в зависимости от промежутка времени, протекающего от момента встречи снаряда с преградой до момента разрыва, бывают следующего действия:

а) мгновенного (осколочного);

б) инерционного (фугасного)[1];

в) замедленного, или с замедлением.

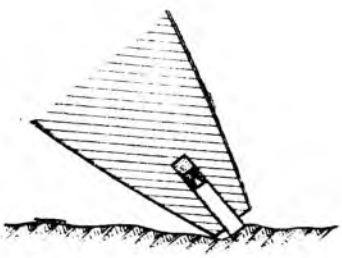


Рис. 125. Схема действия ударного механизма мгновенного действия

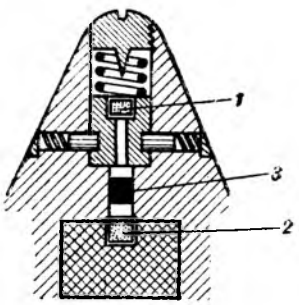


Рис. 126. Ударный механизм с пороховым замедлителем в огневой цепи:

1 — капсюль-воспламенитель; *2* — капсюль-детонатор; *3* — пороховой замедлитель

Взрывателями мгновенного (осколочного) действия называются такие, которые способны вызвать взрыв снаряда менее чем через 0,001 секунды после встречи с преградой. Такая быстрота действия обеспечивается применением так называемого ударника мгновенного действия *1* (рис. 121), расположенного в головной части взрывателя и действующего под влиянием реакции преграды (рис. 125). Взрыв получается при этом раньше углубления снаряда в преграду, вследствие чего глубина воронки незначительна по сравнению с ее диаметром.

Естественно, что взрыватели мгновенного действия могут быть только головными.

Взрыватели инерционного (фугасного) действия вызывают взрыв снаряда через 0,005 секунды и более после удара в преграду.

Устройство ударного механизма такого взрывателя приведено на рис. 119, *а*. Действие его основано на том, что снаряд при проникании в преграду теряет скорость, а ударник *1* перемещается по инерции вперед, преодолевая сопротивление контрпредохранительной пружины *6*, и производит накол капсюля на жало.

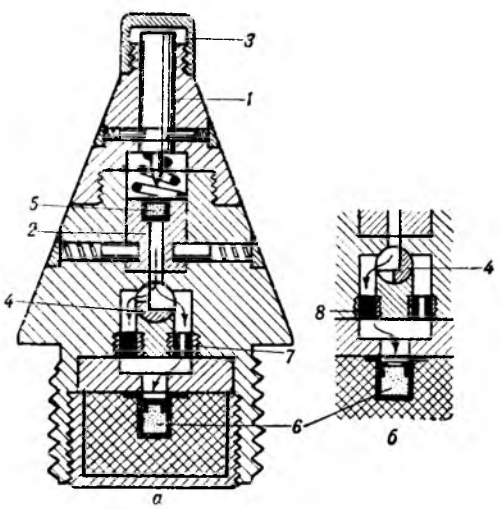


Рис. 127. Взрыватель с четырьмя установками:

1 — ударник мгновенного действия; *2* — ударник инерционного действия; *3* — колпачок; *4* — установочный кран; *5* — капсюль-воспламенитель; *6* — капсюль-детонатор; *7* — пороховой усилитель; *8* — пороховой замедлитель

Снаряд взрывается при этом после некоторого углубления в преграду. Однако получаемое при этом углубление снаряда чаще всего оказывается недостаточным для обеспечения наивыгоднейшего фугасного действия,

[1] В скобках приведены наименования установок согласно Правилам стрельбы 1939 г.

вследствие чего для фугасных снарядов обычно применяют взрыватели с замедлением. Замедление осуществляется, как уже указывалось раньше, постановкой порохового замедлителя *3* (рис. 126) на пути луча огня от капсюля-воспламенителя *1* к капсюлю-детонатору *2* как в механизмах инерционного, так и мгновенного действия.

В более сложных конструкциях взрывателей (рис. 127) в ударный механизм одновременно входят ударник мгновенного (*1*) и ударник инерционного (*2*) действия; иногда в подобных взрывателях имеется и механизм установки на замедление.

Установка таких взрывателей на мгновенное или инерционное действие производится при помощи колпачка *3*. Если колпачок снят, то при встрече снаряда с преградой действует ударник мгновенного действия, а при надетом колпачке — ударник инерционного действия.

Установка на замедление производится поворотом крана *4*.

На рис. 127, *а* показана установка без замедления, при которой огонь капсюля-воспламенителя *5* попадает в капсюль-детонатор *6* через пороховой усилитель *7*.

При установке на замедление (рис. 127, *б*) огонь от капсюля-воспламенителя проходит к капсюлю-детонатору через замедлитель *8*.

Комбинирование установок колпачком и краном позволяет получить в таком взрывателе следующие четыре установки:

1) колпачок снят, кран открыт [1] — мгновенное действие;
2) колпачок надет, кран открыт [1] — инерционное действие;
3) колпачок снят, кран закрыт [1] — малое замедление;
4) колпачок надет, кран закрыт [1] — большое замедление.

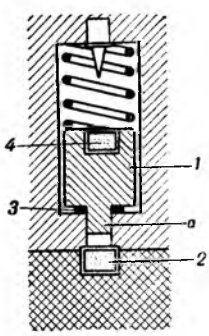


Рис. 128. Ударный механизм взрывателя полупредохранительного типа:

1 — ударник; *2* — капсюль-детонатор; *3* — обтюрирующее кольцо; *4* — капсюль-воспламенитель; *а* — сосок

Более простыми являются взрыватели, имеющие только две установки: на мгновенное и инерционное действие, либо на действие с замедлением и без замедления.

Взрыватели с двумя — четырьмя установками применяются преимущественно в осколочно-фугасных и крупнокалиберных фугасных, бронебойных и бетонобойных снарядах.

Капсюли-воспламенители и капсюли-детонаторы содержат сравнительно наиболее чувствительные взрывчатые составы и поэтому обладают недостаточной стойкостью к сотрясению при выстреле. Следствием этого иногда является самопроизвольное воспламенение капсюлей при выстреле, сопровождающееся преждевременным действием взрывателя и разрывом снаряда. Во избежание этого в конструкции некоторых взрывателей вводятся устройства, изолирующие один или оба капсюля от детонатора; характер этих устройств определяет ту или иную степень предохранительности взрывателей.

По этому признаку взрыватели делятся на непредохранительные, полупредохранительные и предохранительные.

В непредохранительных взрывателях оба капсюля не изолированы от детонатора. Такие взрыватели применяются главным образом в малокалиберных снарядах, где незначительные размеры и требования дешевизны не позволяют применить изолирующие устройства.

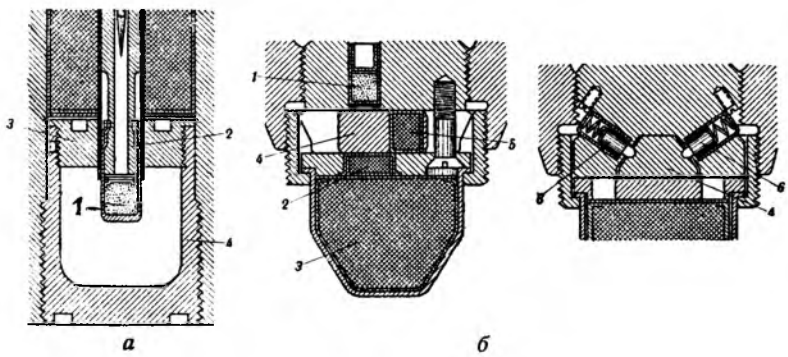
В полупредохранительных взрывателях капсюль-воспламенитель изолирован от детонатора. Наиболее распространенный способ изоляции (рис. 128) капсюля-воспламенителя заключается в том, что ударник *1* снабжается соском *а*, закрывающим отверстие к капсюлю-детонатору *2*, и кроме того, под ударник подкладывается обтюрирующее кольцо *3* из красной

[1] К пороховому усилителю на рис. 127.

меди. В случае самопроизвольного взрыва капсюля-воспламенителя *4* ударник под давлением газов прижимает обтюрирующее кольцо и не допускает прорыва газов к капсюлю-детонатору. При выстреле обтюрация получается более надежной, так как прижимание обтюрирующего кольца обеспечивается еще инерцией ударника. При встрече снаряда с преградой ударник по инерции перемещается вперед, вследствие чего газы капсюля-воспламенителя, обтекая ударник, свободно проникают к капсюлю-детонатору.

Взрывателями предохранительного типа называются такие, в которых оба капсюля изолированы от детонатора. Это достигается значительным усложнением конструкции взрывателя, что вынуждает ограничивать применение таких устройств.

На рис. 129 приведены два типа детонирующих устройств предохранительного типа — с холостой каморой (*а*) и с центробежным движком (*б*).



а *б*

Рис. 129. Детонирующие устройства:

а. 1 — капсюль-детонатор; *2* — ударник; *3* — детонаторная втулка; *4* — донная втулка.

б. 1 — капсюль-детонатор; *2* — передаточный заряд; *3* — детонатор; *4* — центробежный движок: *5* — заряд движка; *6* — центробежные стопоры

В устройстве первого типа капсюль-детонатор *1*, закрепленный на ударнике *2*, находится в так называемой холостой каморе, образованной толстостенными стальными втулками *3* и *4*. Эта камора служит для локализации самопроизвольного взрыва капсюля.

В устройстве второго типа капсюль-детонатор *1* и расположенный над ним капсюль-воспламенитель (на чертеже нет) изолированы центробежным движком *4* от передаточного заряда *2* и детонатора *3*. В обращении движок удерживается на месте стопорным устройством *6*, освобождающим его при выстреле, после чего движок под действием центробежной силы перемещается (на рисунке — влево) и связывает зарядом *5* капсюль-детонатор с детонатором.

3. Требования к трубкам и взрывателям

К современным трубкам и взрывателям предъявляются следующие тактико-технические требования:

1. Безопасность в обращении и надежная взводимость при выстреле. Безопасность взрывателей в обращении обеспечивается применением перечисленных выше предохранителей инерционного и центробежного типов.

Сопротивление этих предохранителей рассчитывается таким образом, чтобы взрыватели и трубки не взводились при случайных падениях снаряда, при тряске во время транспортировки боеприпасов и при всяких других случайных толчках и ударах, которые возможны в условиях служебного обращения. Но, с другой стороны, эти предохранители должны освобождать удерживаемые ими детали при выстреле, допуская при этом взведение взрывателя.

Удовлетворить этим противоречивым требованиям тем легче, чем больше силы инерции, действующие на детали при выстреле. Наибольшие

инерционные усилия возникают при стрельбе из пушек и наименьшие — при стрельбе из гаубиц и мортир. Малые инерционные усилия вынуждают ставить слабые предохранители, которые иногда не обеспечивают безопасности в обращении. В таких случаях прибегают к постановке дополнительных (походных) предохранителей в виде шариков или чек, которые удаляются перед заряжанием орудия.

Такими предохранителями снабжены 45-секундная трубка и взрыватель 5ДТ-2.

2. Безопасность при выстреле и на полете. Основной причиной преждевременного действия взрывателей при выстреле может явиться самопроизвольный взрыв капсюля и преждевременное или неправильное действие ударного механизма.

Самопроизвольное действие капсюлей может быть локализовано изолирующими устройствами, образцы которых были приведены на рис. 129.

Преждевременное действие ударного механизма в канале ствола может иметь место в случае, если снаряд при заряжании не дослан до упора в конический скат в канале ствола. При патронном заряжании орудия с сильно изношенным каналом снаряд не доходит до упора пояском в скат и при выстреле может получить некоторую поступательную скорость до врезания в нарезы. Врезание же в нарезы сопровождается торможением снаряда, вследствие чего инерционный ударник механизма, взводящегося в момент сдвига снаряда[1], переместившись по инерции вперед, может вызвать воспламенение капсюля.

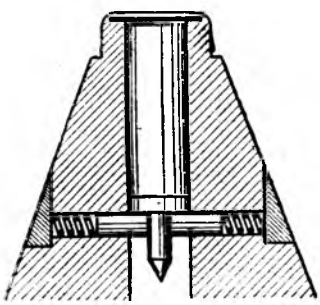


Рис. 130. Ударный механизм с мембраной

В механизмах, взводящихся по вылете снаряда за дульный срез, накол капсюля в канале ствола маловероятен, а в механизмах с центробежными предохранителями он вообще невозможен.

Возможность передачи взрыва от капсюлей детонатору и разрывному заряду снаряда при преждевременном действии механизма определяется конструкцией устройства, изолирующего капсюли.

Преждевременное действие взрывателей при вылете снаряда за дульный срез объясняется причинами главным образом балистического и конструктивного порядка. К балистическим причинам относится нутация снаряда за дульным срезом, которая вызывает набегание (перемещение) инерционного ударника вперед и накол капсюля на жало. Для предупреждения такого набегания ударников служат особые контрпредохранители. Причины конструктивного характера зависят от особенностей устройства каждого отдельного образца. Они будут рассмотрены при описании устройства трубок и взрывателей.

На полете скорость снаряда вследствие сопротивления воздуха уменьшается. Инерционный ударник, помещенный внутри взрывателя, не испытывает сопротивления воздуха и потому стремится переместиться внутри взрывателя вперед; такое перемещение ударника может привести к наколу капсюля и преждевременному разрыву снаряда на траектории. Для предупреждения этого явления ударники снабжаются контрпредохранителями, удерживающими их от перемещения на полете снаряда (рис. 119, *а*).

На ударники мгновенного действия, выступающие наружу, на полете снаряда действует непосредственно давление встречного воздуха. Это давление может переместить ударник внутрь взрывателя и вызвать накол капсюля. Во избежание этого под ударники мгновенного действия также ставятся контрпредохранители; иногда ударники прикрывают сверху так называемой мембраной из латунной ленты толщиной 0,1—0,15 *мм* (рис. 130).

[1] Например, механизм, изображенный на рис. 119, *а*.

При ударе в преграду мембрана, прогибаясь внутрь под действием реакции преграды, вызывает обычное действие ударника.

3. Надлежащее действие трубок. Согласно этому требованию дистанционные трубки и взрыватели должны обладать установленной техническими условиями точностью действия. Ударные взрыватели должны обладать высокой чувствительностью к удару и временем действия после встречи снаряда с преградой, обеспечивающим наивыгоднейшее использование снаряда. Высокая чувствительность имеет наибольшее значение для взрывателей мгновенного действия. Она измеряется наименьшей толщиной фанерного или картонного щита, от удара в который взрыватель действует. Для взрывателей высокой чувствительности эта толщина определяется 1 *мм* картона и меньше. Менее чувствительные взрыватели действуют от 2—4-*мм* фанеры. Высокая чувствительность позволяет использовать взрыватели мгновенного действия для стрельбы по самым слабым преградам (самолеты).

Чувствительность взрывателей мгновенного действия повышается с увеличением диаметра верхнего конца ударника, с уменьшением веса ударника, сопротивления контрпредохранительной пружины и расстояния между капсюлем и жалом и с увеличением чувствительности капсюля к наколу.

Повышение чувствительности ударников инерционного действия обеспечивается, наоборот, увеличением их веса.

Быстрота действия взрывателей измеряется расстоянием от точки разрыва снаряда до щита, пробитого снарядом. Лучшие взрыватели мгновенного действия вызывают разрыв снаряда в момент прохождения им щита.

Замедленное действие взрывателей обеспечивает необходимое углубление фугасных, бронебойных и других снарядов в преграду до момента разрыва. В зависимости от калибра и типа снаряда и орудия это замедление может колебаться от 0,05 до 0,3 секунды и больше (в редких случаях). От дистанционных трубок требуется, чтобы отклонения в продолжительности горения не превышали 1% от времени действия.

4. Простота приемов при подготовке к заряжанию. Это требование относится главным образом к способам установки трубок и взрывателей перед заряжанием.

5. Стойкость при продолжительном хранении. Это требование вызывается необходимостью накопления запаса трубок и взрывателей в условиях мирного времени для бесперебойного снабжения артиллерии в первый период войны.

Производственно-экономические требования к трубкам и взрывателям аналогичны требованиям, предъявляемым к снарядам.

4. Основные расчеты трубок и взрывателей

1. Силы инерции, действующие на детали трубок и взрывателей при движении снаряда по каналу ствола. При движении снаряда по каналу ствола на детали трубок и взрывателей действуют силы инерции, вызываемые поступательным и угловым ускорениями снаряда.

Из возникающих при этом сил наибольшее практическое значение имеют: сила инерции от продольного (поступательного) ускорения снаряда

$$S = m\frac{dv}{dt}$$

и центробежная сила

$$C = mr\omega^2,$$

где m — масса рассматриваемой детали трубки;
r — расстояние центра тяжести этой детали от оси трубки;
ω — угловая скорость снаряда.

Сила инерции, возникающая в результате наличия касательного ускорения снаряда:

$$K = mr\frac{d\omega}{dt},$$

незначительна по сравнению с силой S. Однако она может повернуть дистанционные кольца, что необходимо иметь в виду при проектировании трубок.

Силы S, C и K, действующие на деталь m, изображены векторами на рис. 131.

Подставив в формулу для S уже известное нам выражение для $\frac{dv}{dt}$, получим для текущего давления p в канале ствола:

$$S = \frac{pq_д}{q} \cdot \frac{\pi d^2}{4},$$

где $q_д$ — вес детали массы m.

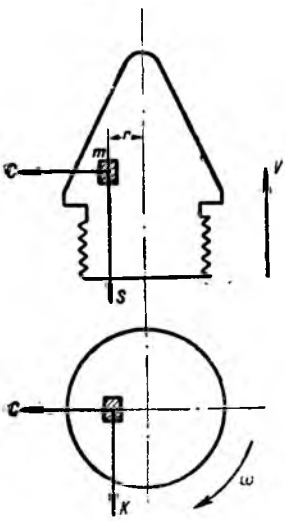


Рис. 131. Схема действия сил на деталь трубки при движении снаряда по каналу ствола

Из этой формулы видно, что сила S для определенной детали и для снаряда зависит только от давления p и, следовательно, достигает наибольшего значения при p_m.

Таким образом, наибольшее значение силы S будет:

$$S_m = \frac{p_m q_д}{q} \cdot \frac{\pi d^2}{4}.$$

Эта сила инерции действует в направлении, обратном движению снаряда по каналу ствола, вызывает перемещение соответствующих деталей, взводит предохранители и приводит в действие дистанционные ударники.

Чтобы судить о величине этой силы независимо от конструкции рассматриваемого взрывателя или трубки, пользуются так называемым коэфициентом продольной взводимости. Этот коэфициент выражает наибольшее усилие, развиваемое единицей веса детали при выстреле, и определяется по следующей формуле:

$$k_1 = \frac{S_m}{q_д} = \frac{p_m}{q} \cdot \frac{\pi d^2}{4}.$$

Для 76-*мм* пушки обр. 1902 г. при $p_m = 2500$ *кг/см*^{2} и $q = 6{,}5$ *кг* значение коэфициента k_1 будет:

$$k_1 = 16100.$$

Этот коэфициент указывает на большие инерционные усилия, развивающиеся в деталях трубок и взрывателей при выстреле. С его помощью легко определить усилия, развиваемые этими деталями. Так например, ударник весом $p = 10$ *г* будет давить на нижележащие детали при выстреле из 76-*мм* пушки обр. 1902 г. с силой

$$S_m = k_1 p = 161 \text{ кг}.$$

Для получения расчетного выражения центробежной силы надо учесть, что угловая скорость ω выражается через поступательную скорость снаряда следующим образом:

$$\omega = \frac{2\pi}{\eta} v,$$

где η — длина хода нарезов орудия[1].

[1] Постоянной крутизны.

Таким образом, центробежная сила будет равна:

$$C = \frac{q_д}{g} r \left(\frac{2\pi}{\eta}\right)^2 v^2.$$

Из этой формулы следует, что центробежная сила пропорциональна квадрату скорости снаряда и, следовательно, достигает своего наибольшего значения в момент достижения v_0.

При этом условии

$$C_m = \frac{q_д}{g} r \left(\frac{2\pi}{\eta}\right)^2 v_0^2.$$

Центробежной силой взводятся центробежные предохранители и движки трубок и взрывателей.

Выражение для центробежной силы может быть представлено и через число оборотов N снаряда при выстреле. Для этого можно воспользоваться следующим равенством, известным из теоретической механики:

$$\omega = 2\pi N.$$

Сравнивая его с равенством

$$\omega = \frac{2\pi}{\eta} v,$$

получим:

$$N = \frac{v}{\eta}, \quad \text{или} \quad N_m = \frac{v_0}{\eta}.$$

Значение N_m для современных снарядов колеблется от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч оборотов в минуту.

Подставляя выражение N_m в формулу для C_m, получим:

$$C_m = \frac{q_д}{g} r (2\pi)^2 N_m^2.$$

2. Безопасность и взводимость трубок и взрывателей. Предохранители изготовляются промышленностью с известным допуском, который задается минимальным R_{min} и максимальным R_{max} допустимыми значениями сопротивлений. Естественно, что при расчете механизма на безопасность следует ориентироваться на R_{min}, а при расчете на взводимость — на R_{max}.

Для расчета безопасности и взводимости инерционных механизмов с жесткими предохранителями пользуются следующей формулой:

$$2000 \leqslant \frac{R}{q_д} \leqslant \frac{2}{3} k_1,$$

где 2000 — коэфициент безопасности, установленный на основе многолетней практики применения подобных механизмов.

Левая часть неравенства выражает требование безопасности, а правая — требование взводимости, которая обеспечивается коэфициентом запаса взводящей силы в $^1/_3$.

Из неравенства видно, что при небольших значениях k_1, т. е. для гаубиц и мортир, иногда невозможно подобрать R_{min} и R_{max} такими, чтобы обеспечивались и безопасность и взводимость механизма. В таких случаях иногда идут сознательно на снижение коэфициента безопасности до 1 500—1 600; при необходимости же дальнейшего снижения коэфициента безопасности прибегают к постановке предохранителей, удаляемых перед заряжанием, как это сделано в 45-секундной трубке и взрывателе 5ДТ-2.

Для пружинных инерционных предохранителей коэфициент безопасности берут равным 1 500, в связи с тем что пружины практически не получают остаточных деформаций при тряске и ударах и, следовательно, более устойчивы при хранении, нежели жесткие предохранители.

В результате этого условие безопасности и взводимости для пружинных инерционных предохранителей получает следующее выражение:

$$1500 \leqslant \frac{R_н}{q_д} \leqslant \frac{2}{3} k_1,$$

где $R_н$ — сопротивление пружины в момент накола на капсюль, определяемое отдельным расчетом.

5. Устройство трубок и взрывателей

1. Германский взрыватель (рис. 132) мгновенного действия, непредохранительного типа, предназначается для малокалиберных осколочных снарядов.

Действие взрывателя. При выстреле ударник *3* с фланцем *4* и жалом, стремясь по инерции остаться на месте, нажимает кольцевым выступом *а* фланца на стопоры *6*. Вследствие этого центробежные стопоры при движении снаряда по каналу ствола не могут разойтись в стороны под влиянием центробежной силы и продолжают удерживать ударник от перемещения в сторону капсюля.

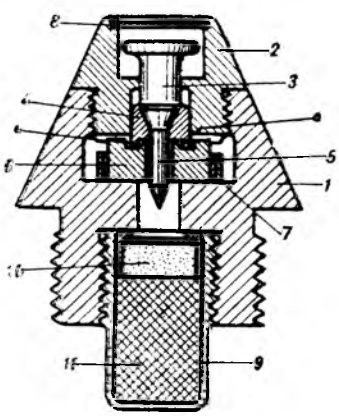


Рис. 132. Германский взрыватель к малокалиберным снарядам:

1 — корпус; *2* — головная втулка; *3* — ударник; *4* — фланец ударника; *5* — жало; *6* — центробежные стопоры; *7* — спиральная пружина; *8* — мембрана; *9* — детонаторный стакан; *10* — капсюль; *11* — детонатор

При вылете снаряда за дульный срез стопоры, под действием центробежной силы, преодолевая сопротивление спиральной пружины *7*, разойдутся в стороны, перемещая своими коническими скатами *в* ударник вперед (вверх) и освобождая для него проход к капсюлю.

Во время полета снаряда ударник прижимается силой набегания к мембране *8*.

При встрече снаряда с преградой ударник под действием реакции преграды перемещается назад и производит накол капсюля жалом.

Взрыватель обладает удовлетворительной чувствительностью и быстротой действия, что позволяет использовать его для стрельбы по воздушным целям.

2. Взрыватель КТ-1 (рис. 133) двойного ударного действия, полупредохранительного типа, предназначается для малокалиберных осколочных снарядов. Однотипный взрыватель КТ-3 предназначался к старым фугасным гранатам средних калибров. Взрыватели изготовляются с замедлением и без замедления и различаются между собой цветом головной втулки. Взрыватель без замедлителя обладает установками на мгновенное (осколочное) и инерционное (фугасное) действие, взрыватель с замедлением — установками на малое и большое замедление.

Устройство взрывателя. Взрыватель состоит из корпуса *1*, головной втулки *2*, ударного механизма двойного ударного действия и тетрилового детонатора *19* в стаканчике *3*.

Ударный механизм состоит из ударника *4* мгновенного действия с жалом *5* и контрпредохранительной пружиной *6* и ударника *7* инерционного действия с капсюлем-воспламенителем *8*, удерживаемого от перемещения в сторону жала лапчатым предохранителем *9*, упирающимся в разгибатель *10*; разгибатель помимо лапчатого предохранителя опирается на взводящую пружину *11*. Ударник *7* в нижней части снабжен цилиндрическим выступом (соском), закрывающим канал для передачи огня к капсюлю-детонатору *18*, и медным обтюрирующим кольцом *12*, чем устраняется прорыв огня от капсюля-воспламенителя к капсюлю-детонатору в случае самопроизвольного взрыва первого. В качестве контрпредохранителя нижнего ударника служит латунное кольцо *13* с лапками,

называемое звездкой и закрепленное в головной гайке втулкой *14*. Сверху ударник мгновенного действия прикрыт колпачком *15*, навинченным на головную втулку.

В стаканчике *3* помимо детонатора содержится капсюль-детонатор *18* с втулкой *17* и прокладками *16*. Во втулке *17* помещается пороховой усилитель или замедлитель, состоящий из сильно спрессованного черного пороха.

Действие взрывателя. Для установки взрывателя на мгновенное действие или действие с малым замедлением необходимо снять колпачок; для получения инерционного действия или действия с большим замедлением никаких операций с взрывателями производить не следует. При выстреле верхний ударник, сжимая пружину, оседает по инерции вниз до упора в кольцевой выступ головной втулки. Одновременно с этим оседает вниз разгибатель и сцепляется при помощи лапок предохранителя с ударником *7*.

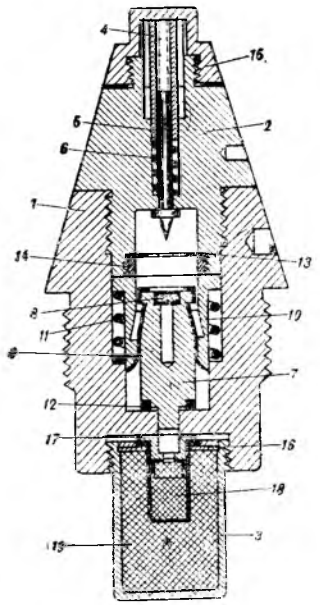


Рис. 133. Взрыватель КТ-1:

1 — корпус; *2* — головная втулка; *3* — стаканчик детонатора; *4* — ударник мгновенного действия; *5* — жало; *6* — контрпредохранительная пружина; *7* — ударник инерционного действия; *8* — капсюль-воспламенитель; *9*—лапчатый предохранитель; *10* — разгибатель; *11* — взводящая пружина; *12*—обтюрирующее кольцо; *13* — звездка; *14* — втулка; *15* — колпачок; *16* — прокладки: *17*—втулка замедлителя; *18* — капсюль-детонатор; *19* — детонатор

По вылете снаряда за дульный срез вследствие убывания силы инерции от продольного ускорения ударник мгновенного действия под давлением контрпредохранительной пружины поднимается в первоначальное положение. Вслед за ним под давлением взводящей пружины перемещается ударник инерционного действия с разгибателем до упора в звездку, в результате чего открывается отверстие, служащее для передачи огня к капсюлю-детонатору. При встрече снаряда с преградой, если колпачок снят, ударник мгновенного действия под влиянием реакции преграды перемещается внутрь взрывателя и производит накол капсюля. При надетом колпачке ударник *7* перемещается по инерции вперед, отгибает лапки звездки и производит накол капсюля на неподвижное жало.

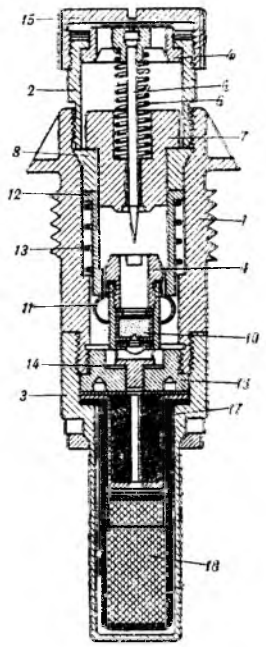


Рис. 134. Взрыватель АД:

1 — корпус; *2* — головная втулка; *3* — стаканчик детонатора; *4* — ударник мгновенного действия; *5* — жало; *6* — контрпредохранительная пружина; *7* — инерционная втулка; *8* — опорная втулка; *9* — ударник инерционного действия; *10* — капсюль-воспламенитель; *11* — лапчатый предохранитель; *12*— разгибатель; *13* — взводящая пружина; *14* — обтюрирующее кольцо; *15* — колпачок; *16* — донная втулка; *17* — втулка усилителя; *18* — капсюль-детонатор

Передача огня от капсюля-воспламенителя к капсюлю-детонатору производится либо непосредственно, либо через пороховой замедлитель в зависимости от конструкции взрывателя.

3. Взрыватель АД (рис. 134) двойного ударного действия, с двумя установками — на мгновенное и инерционное действие, полупредохранительного типа, предназначается к старым фугасным гранатам средних калибров. Взрыватель представляет собой переделку ударно-детонаторной трубки 24/31. Наряду с взрывателем АД применяются его разновидности под марками АД2 и АДН.

По устройству взрыватель сходен с взрывателем КТ-1, а ударный механизм отличается главным образом наличием инерционной втулки *7*,

служащей для повышения чувствительности взрывателя к удару при установке на инерционное (фугасное) действие.

Для установки взрывателя на мгновенное (осколочное) действие необходимо свинтить колпачок.

Действие взрывателя сходно с действием взрывателя КТ-1. При установке взрывателя на инерционное действие сопротивление контрпредохранительной пружины *6* преодолевается при ударе в преграду инерцией массы ударника *9* и инерционной втулки.

4. Взрыватель РГ-6 (рис. 135) двойного ударного действия, предохранительного типа, предназначается для фугасных и осколочно-фугасных снарядов к гаубицам средних калибров. Взрыватель обладает тремя установками — на мгновенное (осколочное) действие, инерционное (фугасное) действие, или действие с малым замедлением, и замедленное действие (с большим замедлением).

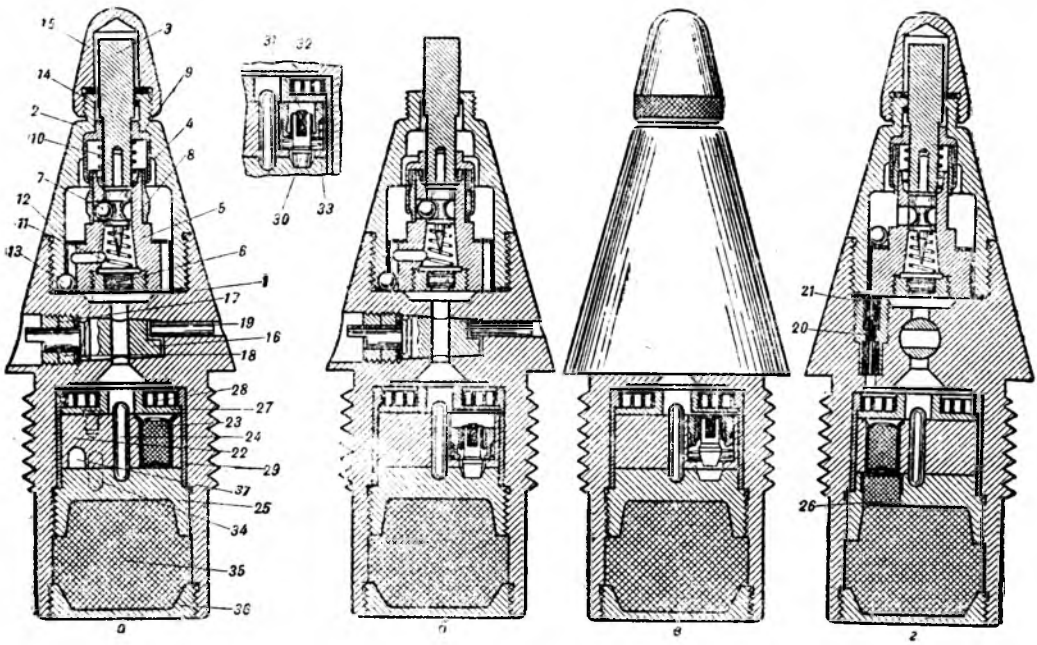


Рис. 135. Взрыватель РГ-6:

а — до выстрела; *б* — при выстреле; *в* — по вылете снаряда за дульный срез; *г* — на полете; *1* — корпус; *2* — головная втулка; *3* — ударник мгновенного действия; *4* — жало; *5* — ударник инерционного действия; *6* — капсюль-воспламенитель; *7*—стопорный шарик; *8* — предохранительное кольцо; *9* — предохранительная гильза; *10* — взводящая пружина; *11* — контрпредохранительная пружина; *12* — таганчик; *13* — шарик; *14* — проволочное кольцо; *15* — колпачок; *16* — установочный кран; *17* — гайка; *18* — контргайка; *19* — штифт; *20*—замедлитель; *21* — втулка замедлителя; *22* — поворотная втулка; *23* — капсюль-детонатор; *24* — ось втулки; *25* — детонаторная втулка; *26* — передаточный заряд; *27* — крышка; *28* — спиральная пружина; *29* — рубашка; *30* — стопор; *31* — лапчатый предохранитель; *32* — разгибатель; *33* — пружина; *34* — ограничительный штифт; *35* — детонатор; *36* — донная втулка; *37* — дуговая канавка

Устройство взрывателя. Взрыватель состоит из корпуса *1*, головной втулки *2*, ударного механизма двойного ударного действия, установочного механизма и детонирующего устройства.

Ударный механизм состоит из ударника *3* мгновенного действия с жалом *4* и ударника *5* инерционного действия с капсюлем-воспламенителем *6*, удерживаемых от взаимного перемещения тремя стопорными шариками *7*, отверстия для которых в патрубке ударника *5* прикрыты предохранительным кольцом *8*. Предохранительное кольцо удерживается на месте упирающейся в его кольцевой выступ разрезной предохранительной гильзой *9*, снабженной взводящей пружиной *10*. Для устранения взаимного перемещения ударников на полете снаряда в воздухе служит контрпредохранительная пружина *11*, а для удержания нижнего ударника служит еще таганчик *12* с тремя загнутыми лапками.

Поворот нижнего ударника относительно корпуса взрывателя устраняется шариком *13*, входящим в канавку ударника и углубление в головной втулке. Проволочное кольцо *14* фиксирует положение верхнего ударника относительно головной втулки. Сверху ударник мгновенного действия прикрыт колпачком *15*.

Установочный механизм состоит из крана *16* конической формы, укрепленного в корпусе гайкой *17* и контргайкой *18* и снабженного радиальным отверстием для прохода огня от капсюля-воспламенителя к капсюлю-детонатору *23* и головкой для поворота его помощью установочного ключа. Поворот крана для получения требуемой установки ограничивается штифтом *19*. При установке крана на мгновенное или инерционное действие стрелка на головке крана совпадает с буквой „О" на корпусе взрывателя; при этой установке отверстие для передачи огня к капсюлю-детонатору открыто. Для установки на замедление кран следует повернуть до совпадения стрелки на головке крана с буквой „З" на корпусе взрывателя; при такой установке отверстие для передачи огня к капсюлю-детонатору закрыто, и огонь может пройти лишь через пороховой замедлитель *20* во втулке *21*.

Для установки на мгновенное действие с взрывателя следует снять колпачок. Кран должен быть установлен на „О".

В войсковые части взрыватели поступают с навинченными колпачками и установкой крана на „О".

Детонирующее устройство взрывателя состоит из поворотной втулки *22* с капсюлем-детонатором *23*, сидящей на оси *24*, запрессованной в детонаторную втулку *25* с передаточным зарядом *26*, стопорного устройства, удерживающего втулку в холостом положении, крышки *27* и спиральной пружины *28*. Крышка прикреплена к втулке винтами, пружина закреплена внутренним концом в патрубке крышки, а наружным приклепана к рубашке *29*.

Стопорный механизм состоит из стопора *30* с лапчатым предохранителем *31* и разгибателя *32* с пружиной *33*.

При сборке взрывателя спиральная пружина заводится, а поворотная втулка ставится в холостое положение, при котором взрыв капсюля-детонатора не может быть передан передаточному заряду и детонатору; в этом положении втулка крепится стопорным устройством. Для ограничения поворота втулки при переходе в боевое положение служит штифт *34*, сидящий в детонаторной втулке и входящий своим концом в дуговую канавку *37* поворотной втулки.

Под детонаторной втулкой помещается тетриловый детонатор *35*, прикрытый снизу донной втулкой *36*.

Действие взрывателя. Перед заряжанием орудия производится установка взрывателя при помощи колпачка и крана. Для получения мгновенного (осколочного) действия свинчивается колпачок, а для получения замедленного действия кран поворачивается и устанавливается на „З". Для получения инерционного (фугасного) действия никаких операций с взрывателем производить не надо.

При выстреле предохранительная гильза по инерции оседает на кольцо и сцепляется с ним при помощи своих лапок, сжимая при этом взводящую пружину.

Одновременно с этим разгибатель стопорного устройства поворотной втулки оседает вниз и сцепляется со стопором, сжимая пружину.

При вылете снаряда за дульный срез убывание силы инерции от продольного ускорения вызывает подъем сцепившихся между собой предохранительной гильзы и кольца под давлением взводящей пружины. При этом освобождаются стопорные шарики и оба ударника. Одновременно с этим под давлением пружины поднимается вверх стопор поворотной втулки с разгибателем, и освобожденная втулка поворачивается под влиянием спиральной пружины, становясь капсюлем-детонатором над передаточным зарядом.

При встрече снаряда с преградой при установке взрывателя на мгновенное (осколочное) действие верхний ударник под влиянием реакции преграды перемещается внутрь взрывателя и накалывает капсюль-воспламенитель. Огонь от капсюля через отверстие в кране передается капсюлю-детонатору, а взрыв последнего через передаточный заряд — детонатору. При установке взрывателя на инерционное (фугасное) действие нижний ударник перемещается по инерции вперед и накалывает капсюль-воспламенитель на неподвижное жало.

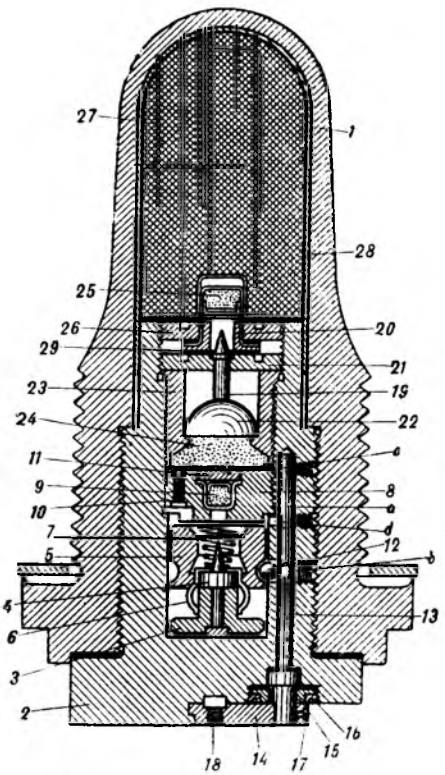


Рис. 136. Взрыватель 5ДТ-2:

1 — запальный стакан; *2* — корпус; *3* — ударник; *4* — жало; *5*—разгибатель; *6* — лапчатый предохранитель; *7* — контрпредохранительная пружина; *8* — втулка замедлителя; *9* — капсюль-воспламенитель; *10* — пороховой замедлитель; *11* — пробка; *12* — стопорный шарик; *13* — установочный кран; *14* — установочный рычаг; *15* — втулка крана; *16* — гайка крана; *17* — винт крепительный; *18* — винт для фиксирования установки; *19* — боек; *20* — направляющая втулка; *21* — промежуточная втулка; *22* — полушар; *23* — втулка петарды; *24* — пороховая петарда; *25* — капсюль-детонатор; *26* — втулка капсюля; *27* — детонатор; *28* — гильза детонатора; *29* — латунный кружок

При установке взрывателя на замедление ударный механизм действует в соответствии с изложенным выше, а пламя от капсюля-воспламенителя передается в капсюль-детонатор через пороховой замедлитель.

5. Взрыватель 5ДТ-2 (рис. 136) — инерционного действия, непредохранительного типа, с двумя установками — на замедление и без замедления. Взрыватель предназначается для крупнокалиберных фугасных снарядов.

Приспособление для установки взрывателя состоит из установочного крана *13* с установочным рычагом *14*, закрепленного в корпусе *2* взрывателя втулкой *15* и гайкой *16*. Рычаг, закрепленный на кране винтом *17*, снабжен винтом *18* для фиксации установки. В своей верхней части кран имеет желобок *a*, а в средней части на одном уровне — две лунки *b* для шарика *12*. В стенке корпуса имеются два отверстия *c* и *d*, служащих для передачи огня от капсюля-воспламенителя *9* в пороховую петарду *24* через желобок крана при установке на действие без замедления. При этой установке кран поворачивается желобком внутрь взрывателя. Когда взрыватель устанавливают на замедление, кран поворачивают желобком наружу, в результате чего отверстия *c* и *d* закрываются, и для огня от капсюля к пороховой петарде остается единственный путь через пороховой замедлитель *10*. При любой из этих установок крана одна из его лунок оказывается против шарика *12*, следствием чего является освобождение разгибателя *5*, который после этого удерживается на месте только лапчатым предохранителем *6*.

Установка взрывателя производится поворотом крана при помощи установочного рычага до совмещения риски на последнем с одной из рисок на донном срезе корпуса, отмеченных буквами „М" и „З" и соответственно обозначающих действие без замедления и действие с замедлением. Походное положение крана соответствует риске с отметкой „Пк".

Действие взрывателя. Перед заряжанием взрыватель устанавливают на требуемое действие поворотом установочного рычага на 90° вправо или влево до совмещения указанных выше рисок.

При выстреле разгибатель, оседая по инерции вниз, преодолевает сопротивление лапчатого предохранителя и вытесняет шарик в лунку установочного крана.

Во время полета снаряда ударник с разгибателем удерживается от набегания контрпредохранительной пружиной *7*.

При встрече снаряда с преградой ударник, перемещаясь по инерции вперед, производит накол капсюля жалом. Пламя от капсюля в зависимости от установки взрывателя проходит в пороховую петарду через замедлитель, либо через соединительные отверстия *c* и *d* и через желобок крана. Под давлением газов взорвавшейся пороховой петарды боек *19* прорывает латунный кружок *29* и накалывает капсюль-детонатор, взрыв которого передается детонатору.

6. 22-секундная трубка двойного действия предназначается для 76-*мм* пулевых шрапнелей.

Устройство трубки (рис. 137). Трубка состоит из стебля *1*, дистанционного устройства и ударного механизма.

Дистанционное устройство трубки состоит из двух дистанционных колец *2* и *3* с запрессованным в их желобки дистанционным составом *4*, головной гайки *5* с парашютом *6*, зажимного кольца *7* и дистанционного механизма.

Дистанционный механизм помещается в гнезде головки *a* стебля и состоит из дистанционного ударника *8* и *10* с капсюлем-воспламенителем *9*, удерживаемого на месте разрезным предохранительным кольцом *11*, жала *12*, закрепленного гайкой *13* в дне гнезда головки, и пружинки *14*, фиксирующей положение дистанционного ударника.

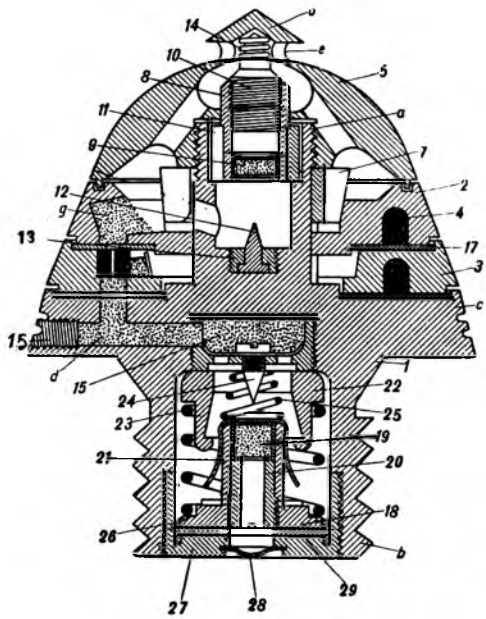


Рис. 137. 22-секундная трубка двойного действия:

1 — стебель; *2* — дистанционное кольцо; *3* — дистанционное кольцо; *4* — дистанционный состав; *5* — головная гайка; *6* — парашют; *7* — зажимное кольцо; *8* — дистанционный ударник; *9* — капсюль-воспламенитель; *10* — дистанционный ударник; *11* — предохранительное кольцо; *12*—жало; *13* — гайка; *14* — пружинка дистанционного ударника; *15* — пороховая петарда; *16* — пробка; *17* — суконные кольца; *18* — ударник; *19* — капсюль; *20* — втулка ударника; *21* — лапчатый предохранитель; *22* — разгибатель; *23* — предохранительная пружина; *24* — жало; *25* — контрпредохранительная пружина; *26* — лапчатый контрпредохранитель; *27* — донная втулка; *28* — заделка; *29* — свинцовая шайба

Дистанционные кольца надеты на головку стебля, причем верхнее кольцо скреплено с головкой шпоночными выступами, входящими в пазы головки стебля, а нижнее кольцо надето на головку свободно и может на ней вращаться. На наружной поверхности нижнего кольца нанесены: шкала с делениями, обозначенными через каждый десяток от 10 до 130[1], и две риски с надписями: „К" — картечное действие и „Уд" — ударное действие. Деления шкалы соответствуют делениям прицела, т. е. изменение установки трубки на одно деление изменяет дальность разрыва на 20 саж. Кроме шкалы, на нижнем дистанционном кольце имеются гнезда для установочного ключа и кнопки, облегчающие поворот кольца от руки. На боковой поверхности тарели *c* стебля нанесена установочная риска. В стебле высверлен соединительный канал *d*, заполненный черным порохом и служащий для передачи огня от нижнего дистанционного кольца к пороховой петарде *15*. Снаружи канал закрыт пробкой *16*.

Для отвода газов дистанционного состава служат отверстия *e* под парашютом.

[1] В трубках с медленно горящим составом имелись шкалы до 140 и 150 делений.

При сборке трубки дистанционные кольца поджимаются к тарели стебля при помощи головной гайки и зажимного кольца. Для более плотного прилегания колец друг к другу и к тарели между ними прокладывают суконные кольца *17*.

Ударный механизм собран в хвостовой части *b* трубки и состоит из ударника *18* с капсюлем *19* и втулкой *20*, удерживаемого на месте разгибателем *22*, упирающимся в лапчатый предохранитель *21*, имеющий две лапки изогнутые и две почти прямые, которые и видны на рисунке. Кроме того, имеются пружины: предохранительная *23* и контрпредохранительная *25*, и жало *24*. Ударник дополнительно удерживается за фланец лапчатым контрпредохранителем *26*, прикрепленным к донной втулке *27*. Для прохода луча огня во втулке имеется отверстие, прикрытое заделкой *28*. Под ударник подкладывают свинцовую шайбу *29*.

Рис. 138. Установочный ключ

Для предохранения от влаги на трубку надет оловянный колпак, который закатывается вместе с проволочной петлей в кольцевые канавки тарели.

В войсковые части трубки поступают с установкой на картечное действие.

Действие трубки. Перед заряжанием срывают с трубки, посредством проволочной петли, оловянный колпак и затем устанавливают трубку поворотом нижнего дистанционного кольца при помощи установочного ключа (рис. 138) или вручную до совмещения скомандованного деления на шкале с риской на тарели стебля.

При выстреле дистанционный ударник по инерции оседает вниз, раздвигая предохранительное кольцо, и производит накол капсюля на жало. От пламени капсюля через радиальное отверстие в головке стебля и затравочное отверстие *g* верхнего дистанционного кольца загорается пороховой состав последнего. Одновременно с этим разгибатель, преодолевая сопротивление лапчатого предохранителя и пружины *23*, смещается по инерции к дну трубки и сцепляется с ударником. Для предупреждения преждевременных разрывов вследствие отдачи этой системы под влиянием пружины *23* служит лапчатый контрпредохранитель *26*. На полете система ударник — разгибатель удерживается от набегания пружиной *25* и контрпредохранителем *26*.

При установке трубки на некоторую дальность горение дистанционного состава происходит по схеме, приведенной на рис. 139, *а*. Огонь из верхнего дистанционного кольца по передаточному отверстию переходит в нижнее кольцо и из него по соединительному каналу в стебле — в пороховую петарду. Газы петарды вышибают заделку донной втулки и воспламеняют порох в центральной трубке шрапнели.

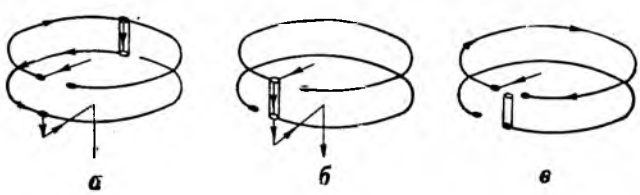


Рис. 139. Схемы огневой цепи трубки:
а — при установке на дистанционное действие; *б* — при установке на картечь; *в* — при установке на удар

Когда трубка установлена на картечь, огонь от капсюля через передаточное отверстие нижнего кольца, минуя дистанционный состав, попадает непосредственно в петарду (рис. 139, *б*). При этом трубка вызывает взрыв шрапнели в 6—10 *м* от орудия.

При установке трубки на удар передаточное отверстие нижнего кольца становится под перемычкой верхнего кольца. В результате огонь из верх-

него дистанционного кольца не передается в нижнее кольцо и пороховую петарду (рис. 139, *в*), и трубка действует только при встрече снаряда с преградой, когда ударник *18*, перемещаясь по инерции вперед, воспламеняет капсюль и петарду.

Для правильного действия трубки особое значение имеет тяжелая головная гайка, которая, оседая при выстреле вниз, сильно прижимает дистанционные кольца к тарели стебля, препятствуя повороту подвижного кольца при выстреле и сбиванию установки. Одновременно с этим плотное прилегание колец одного к другому и к тарели стебля устраняет прорыв газов дистанционного состава и обеспечивает равномерное горение последнего. Дистанционные кольца при выстреле прижимаются также зажимным кольцом, но роль последнего по сравнению с гайкой невелика.

Трубка по устройству и в обращении проста и в свое время удовлетворяла требованиям артиллерии. С точки же зрения современных требований трубка обладает недостаточным временем действия (22 секунды) и не может быть использована для стрельбы по воздушным целям вследствие затухания в разреженных слоях атмосферы.

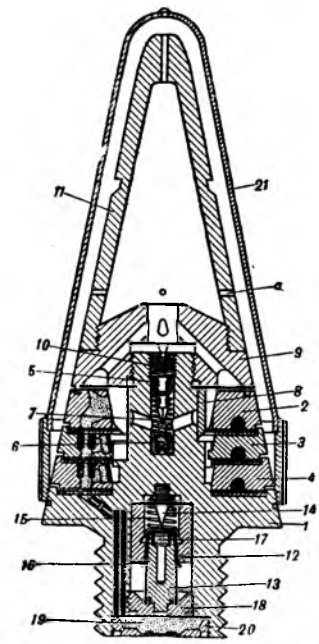


Рис. 140. Трубка двойного действия Т-6:

1 — стебель; *2, 3, 4* — дистанционные кольца; *5* — дистанционный ударник; *6* — капсюль-воспламенитель; *7* — предохранительная пружина; *8* — зажимное кольцо; *9* — головная гайка; *10* — втулка; *11* — балистический колпак; *12* — разгибатель; *13* — ударник; *14* — жало; *15* — контрпредохранительная пружина; *16* — лапчатый предохранитель; *17* — капсюль-воспламенитель; *18* — втулка; *19* — пороховая петарда; *20* — донная втулка; *21* — предохранительный колпак

7. Трубка двойного действия Т-6 (рис. 140) предназначается для пулевых шрапнелей с очком под 22-секундную трубку. Отличительной особенностью этой трубки является наличие балистического колпака *11* с четырьмя отверстиями *а* по бокам для выхода газов от горения дистанционного состава. Дистанционный состав трубки заключается в трех дистанционных кольцах *2, 3, 4*, из которых среднее неподвижное, а нижнее и верхнее — подвижные и скреплены между собой соединительной скобой (на рисунке не показана). На нижнем дистанционном кольце нанесена шкала в 139 делений, соответствующих делениям прицела 76-*мм* пушки обр. 1927 г. Кроме этого, на шкале имеются указатели с буквами „К" и „Уд", соответствующие установкам на картечное и ударное действие. На тарели стебля имеется риска, служащая для установки трубки на скомандованное деление дистанционной шкалы.

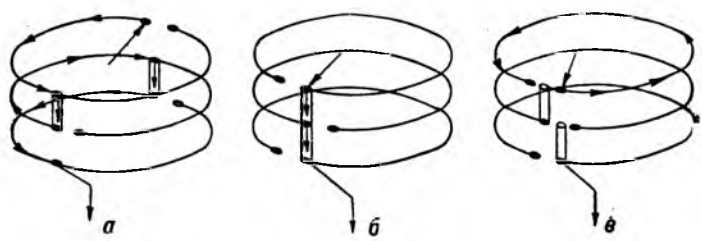


Рис. 141. Схемы огневой цепи трубки:

а — при установке на дистанционное действие; *б* — при установке на картечь; *в* — при установке на удар

Действие дистанционного устройства трубки сходно с действием такого же устройства 22-секундной трубки.

Действие ударного механизма заключается в следующем. При выстреле разгибатель по инерции оседает вниз и сцепляется с ударником.

При ударе снаряда в преграду ударник с разгибателем по инерции перемещается вперед и производит накол капсюля на жало; огонь от капсюля через пороховую петарду передается в центральную трубку шрапнели.

При установке трубки на некоторую дальность горение дистанционного состава происходит согласно схеме, приведенной на рис. 141, *а*. Огонь из верхнего дистанционного кольца по передаточному отверстию попадает в среднее кольцо, горение порохового состава которого происходит в направлении, обратном верхнему дистанционному кольцу. Дойдя до передаточного отверстия нижнего кольца, огонь передается его составу, причем горение пойдет в направлении, обратном среднему кольцу. Огонь в нижнем дистанционном кольце, дойдя до соединительного канала, по пороховым столбикам передается в пороховую петарду и далее в центральную трубку шрапнели.

При установке трубки на картечное действие (установка „К") огонь от капсюля через передаточные отверстия колец, минуя дистанционный состав, передается непосредственно в петарду (рис. 141, *б*).

При установке трубки на ударное действие передаточные отверстия среднего и нижнего колец становятся под перемычками вышележащих колец (рис. 141, *в*). Вследствие этого огонь из верхнего дистанционного кольца не передается в нижележащие кольца, и трубка действует только при встрече снаряда с преградой.

Головная гайка в этой трубке играет ту же роль, что и в 22-секундной трубке.

Трубка в обращении и по устройству проста и обеспечивает надежное действие при стрельбе по наземным целям.

ГЛАВА IV

ГИЛЬЗЫ И СРЕДСТВА ВОСПЛАМЕНЕНИЯ

1. Гильзы

Гильзы представляют собой элементы артиллерийских выстрелов патронного и раздельного гильзового заряжания и предназначаются:

а) для помещения в них заряда, вспомогательных элементов к заряду и средств воспламенения последнего; в выстрелах патронного заряжания гильзы, помимо этого, служат для соединения заряда со снарядом в унитарный патрон;

б) для предохранения заряда от влияния влаги и механических повреждений в условиях служебного обращения;

в) для обтюрации.

Устройство цельнотянутых гильз к выстрелам патронного *(I)* и раздельного гильзового заряжания *(II)* приведено на рис. 142.

По наружному очертанию каждая гильза должна соответствовать той части зарядной каморы орудия, в которую она вкладывается. Для обеспечения свободного заряжания орудия гильза должна входить в зарядную камору с некоторым зазором. Предельная величина зазора обусловливается прочностью гильзы и необходимостью обеспечить надлежащую обтюрацию и свободное экстрактирование гильзы после выстрела.

Объем и размеры внутренней полости гильзы определяются требованием наиболее рационального использования объема каморы для получения заданных v_0 и p_m, требованием удобства помещения в ней боевого

заряда, а также требованием необходимой прочности как в обращении, так и при выстреле.

По наружному виду в гильзе различают (рис. 142): *a* — корпус гильзы; *b* — дульце гильзы; *c* — скат, соединяющий дульце гильзы с корпусом (в гильзах к выстрелам раздельного заряжания этот скат отсутствует, и дульце непосредственно переходит в корпус гильзы); *d* — фланец гильзы; *e* — дно гильзы: *f* — очко для капсюльной втулки.

Корпус гильзы — конической формы, соответственно форме зарядной каморы ствола; такая форма корпуса гильзы облегчает ее экстрактирование после выстрела.

Дульце имеет назначение предупредить прорыв пороховых газов между стенками гильзы и зарядной каморы в начальный период нарастания давления в канале ствола; для этой цели стенки дульца имеют наименьшую толщину по сравнению с остальными элементами гильзы. В выстрелах патронного заряжания дульце гильзы одновременно с этим должно обладать и достаточной жесткостью и прочностью, чтобы обеспечить надежное соединение гильзы со снарядом.

Фланец служит для упора в кольцевую выточку затворного гнезда ствола для фиксирования положения гильзы в зарядной каморе и для экстрактирования.

Внутри гильзы различают камору *g* (рис. 142) для заряда и сосок *h* с гнездом для капсюльной втулки.

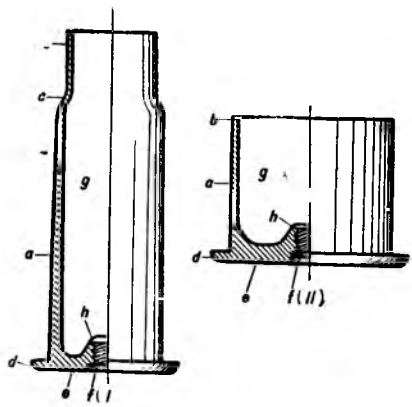


Рис. 142. Гильзы

При выстреле в стенках гильзы возникают упругие и остаточные деформации. Эти деформации сопровождаются колебательным движением стенок гильзы в зарядной каморе ствола. Колебания стенок ствола имеют свою собственную амплитуду и частоту, не зависящие от колебаний гильзы. В связи с этим общая картина работы гильзы при выстреле чрезвычайно сложна и пока еще не нашла окончательного теоретического объяснения.

В самом элементарном виде действие гильзы при выстреле может быть представлено следующим образом. С началом нарастания давления в канале ствола дульце гильзы плотно прилегает к стенкам зарядной каморы и препятствует этим прорыву пороховых газов между гильзой и каморой. При дальнейшем повышении давления к стенкам каморы плотно прилегают скат и корпус гильзы, за исключением небольшого участка у фланца, обладающего наибольшей толщиной и прочностью. После выстрела гильза несколько обжимается за счет своих упругих деформаций и, возможно, за счет обжимающего усилия стенок зарядной каморы, благодаря различным условиям их колебаний и колебаний стенок гильзы. Эти явления имеют громадное значение для боевого использования гильз, так как экстрактирование их после выстрела возможно только благодаря этому обжиму в зарядной каморе.

Помимо конструкции, большое значение для действия гильзы имеет материал, из которого она изготовлена. Гильзы бывают: латунные, железные и суррогатные.

Латунные гильзы имеют наибольшее распространение и обладают лучшими качествами по сравнению с прочими гильзами. Однако громадное потребление гильз в военное время может вызвать переход на другие, менее дефицитные материалы. Таким материалом во время войны 1914—1918 гг. служило железо. Помимо железа для изготовления гильз может быть использован еще ряд суррогатных материалов: картон, пластмассы и т. п.

Основные тактико-технические требования, предъявляемые к гильзам, сводятся к следующему:

а) обтюрация при выстреле;

б) легкое экстрактирование после выстрела;

в) прочность, необходимая для сохранения гильзы и заряда в условиях служебного обращения;

г) надежность соединения заряда со снарядом в выстрелах патронного заряжания;

д) многострельность, т. е. возможность многократного использования одной гильзы после соответствующего обновления;

е) минимальный объем материала и

ж) стойкость при продолжительном хранении.

Первые два требования являются важнейшими; от их выполнения зависит нормальная боевая работа артиллерийской системы в целом.

Производственно-экономические требования к гильзам аналогичны таковым же требованиям к снарядам.

2. Средства воспламенения зарядов

Средства воспламенения предназначаются для сообщения огня боевому заряду орудия.

Разнообразие в устройстве орудий и зарядов приводит к необходимости иметь различные по устройству и способу приведения в действие средства воспламенения. По способу приведения в действие наиболее распространенные средства воспламенения могут быть разбиты на вытяжные, ударные и электрические.

Вытяжные средства воспламенения применяются в орудиях картузного заряжания, не имеющих стреляющего приспособления. Такое средство воспламенения, известное под маркой КВТ (коленчатая вытяжная трубка), приведено на рис. 143.

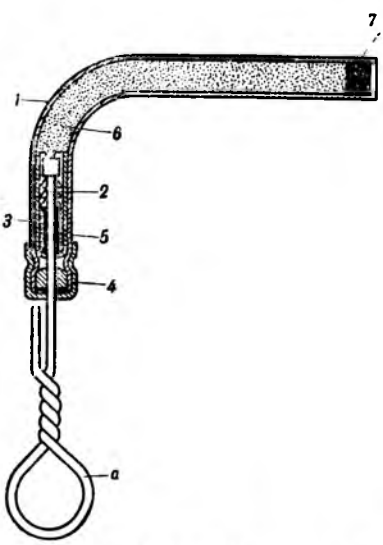


Рис. 143. Коленчатая вытяжная трубка:

1 — гильза; *2* — терка; *3*—вкладная гильза; *4* — колпачок; *5* — терочный состав; *6* — пороховой заряд; *7* — мастичная пробка

Трубка состоит из гильзы *1*, терочного устройства, колпачка *4* и порохового заряда *6*, закрытого мастичной пробкой *7*.

Терочное устройство состоит из терки *2* и терочного состава *5*[1] в гильзе *3*. Терка для удобства выдергивания снабжена проволочной петлей *а*.

После заряжания орудия трубку вставляют в запальный канал ствола. Для производства выстрела терку выдергивают при помощи вытяжного шнура. При этом терка трением своих зубцов вызывает воспламенение терочного состава, и луч огня передается боевому заряду орудия.

Основные недостатки этого средства воспламенения—отсутствие приспособления, обтюрирующего пороховые газы, и недостаточный форс огня.

Ударные средства воспламенения подразделяются на ударные трубки и капсюльные втулки. Первые предназначаются для орудий картузного заряжания со стреляющим приспособлением в затворе, вторые — для выстрелов гильзового заряжания. Ударные трубки после заряжания орудия вставляют в соответствующее гнездо затвора, а капсюльные втулки находятся постоянно ввинченными в гильзы (рис. 142).

[1] Смесь бертолетовой соли с антимонием.

По своему внутреннему устройству ударные средства воспламенения ничем существенным между собой не отличаются, а по наружному виду отличаются лишь тем, что капсюльные втулки имеют нарезку для ввинчивания в очко гильзы, а ударные трубки этого не имеют.

На рис. 144 изображена капсюльная втулка. Она состоит из корпуса *1*, капсюля *2*, прижатого к дну гнезда корпуса втулкой *3*, наковальни *4* и порохового заряда *5*, прикрытого латунным кружком *6*.

При спуске ударника его боек вдавливает дно корпуса втулки и разбивает капсюль о выступ наковальни. Огонь от капсюля, усиленный пороховым зарядом (который для орудий небольших калибров является воспламенителем), сообщается боевому заряду.

Электрические средства воспламенения применяются главным образом в крупнокалиберных орудиях береговой и морской артиллерии. Отличительной особенностью их устройства (рис. 145) является наличие так называемого мостика *1* (тонкой платиновой проволоки), окруженного воспламенительным составом *2* и накаливаемого при производстве выстрела электрическим током, в результате чего окружающий его состав воспламеняется, и луч огня передается заряду.

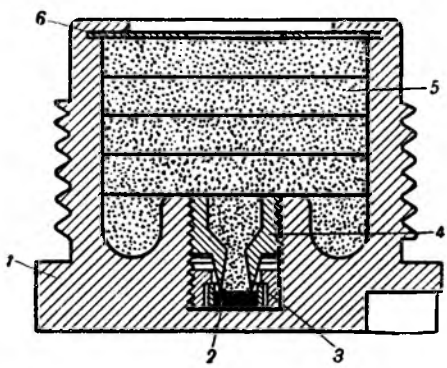


Рис. 144. Капсюльная втулка:

1 — корпус; *2* — капсюль; *3* — втулка капсюля; *4* — наковальня; *5* — пороховой заряд; *6* — кружок

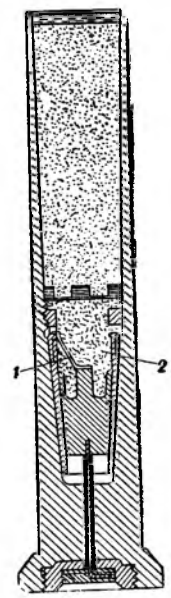


Рис. 145. Гальваническая трубка Виккерса:

1 — мостик накаливания; *2* — воспламенительный состав

Электрические средства воспламенения позволяют свести к минимуму время, затрачиваемое на производство выстрела, а это имеет исключительное значение при стрельбе по быстродвижущимся целям. В связи с этим использование электрических средств воспламенения наиболее желательно в зенитной, танковой и противотанковой артиллерии.

Основные тактико-технические требования, предъявляемые к средствам воспламенения, сводятся к следующему:

а) безопасность в обращении и достаточная чувствительность к возбуждающему взрыв импульсу (трению, удару бойком, электрическому току);

б) форс огня, достаточный для безотказного и быстрого воспламенения заряда;

в) обтюрация пороховых газов при выстреле;

г) стойкость при продолжительном хранении.

ГЛАВА V

О ПРАВИЛАХ ХРАНЕНИЯ И ОБРАЩЕНИЯ С БОЕПРИПАСАМИ В ВОЙСКОВЫХ ЧАСТЯХ

Опасность, которую представляют собой боеприпасы по сравнению со всеми остальными видами военной техники, требует неукоснительного выполнения всех правил обращения с боеприпасами и допущения к работам с ними только специально подготовленных лиц.

Правила хранения и обращения с боеприпасами подробно изложены в „Наставлении по хранению и сбережению артиллерийского имущества в войсковых частях", а также в руководствах службы соответствующих артиллерийских систем.

Обращение с боеприпасами в войсковых частях складывается из следующих элементов:

а) прием со складов;
б) хранение;
в) сбережение;
г) лабораторные работы;
д) перевозка;
е) стрельба.

При приеме снарядов необходимо обратить внимание на исправность окраски и маркировки, а при приеме трубок и взрывателей — на исправность укупорки по наружному виду.

В мирное время боеприпасы хранятся в специально подготовленных и оборудованных помещениях. При этом боеприпасы должны быть разложены в своей укупорке по назначению, видам, маркам, партиям и годам изготовления, с соблюдением установленной высоты штабелей и расстояний между ними.

Сбережение боеприпасов имеет своим назначением обеспечить вполне исправное состояние их для стрельбы, для чего предусматривается систематическое наблюдение за состоянием боеприпасов, их чистка и смазка.

Для распознавания боеприпасов по видам, маркам, партиям, годам изготовления и т. д. все элементы выстрелов имеют отличительные знаки в виде окраски различных цветов, маркировки и клейм.

В мирное время окраске подвергаются все снаряды средних и крупных калибров и незначительная часть взрывателей и трубок. Окраска снарядов служит не только для распознавания их боевого назначения, но и для предохранения их от коррозии.

Маркировкой называют знаки и надписи, наносимые черной краской на окрашенные снаряды, гильзы с боевым зарядом, картузы зарядов и укупорку с боеприпасами.

По этой маркировке можно определить: где и когда снаряжался снаряд; номер партии; под какой взрыватель предназначается очко; калибр; номер чертежа; фактический вес снаряда; время и место возобновления окраски.

Весовые знаки на снарядах определяют отличие фактического веса снаряда от нормального в соответствии с данными таблицы 54.

На гильзе и картузах знаки указывают: марку пороха;

Таблица 54

Весовые знаки	Отличие веса снаряда от нормального
Лг	Легче более чем на 3%
— — — —	„ на $2^1/_3$—3%
— — —	„ „ $1^2/_3$—$2^1/_3$%
— —	„ „ 1—$1^2/_3$%
—	„ „ $^1/_3$—1%
Н	Легче или тяжелее на $^1/_3$%
+	Тяжелее на $^1/_3$—1%
+ +	„ „ 1—$1^2/_3$%
+ + +	„ „ $1^2/_3$—$2^1/_3$%
+ + + +	„ „ $2^1/_3$—3%
Тж	„ более чем на 3%

партию и время изготовления пороха; завод, изготовивший порох; время изготовления и завод, изготовивший заряд; склад, снарядивший гильзу.

Например, знаки

$$7/7\ \frac{1}{26}\ \text{DA8}\ \text{Ш} - 30\ \boxed{32}\ - \text{IV} - 31$$

обозначают следующее:

7/7 — марка пороха;
1 — партия пороха;
26 — год изготовления пороха;
DA8 — завод, изготовивший порох;
Ш — завод, изготовивший заряд;
30 — год изготовления заряда;
32 — номер склада, снарядившего гильзу;
IV — 31 — месяц и год снаряжения гильзы.

Клеймами называются знаки, выбитые или вытравленные на металле.

Клейма наносятся на снаряды, трубки, взрыватели, гильзы и капсюльные втулки.

Система клеймения и маркировки приведена в соответствующих инструкциях Главного артиллерийского управления Красной Армии.

Помимо чистки, смазки и частичного возобновления окраски, в войсковых частях допускается производство следующих лабораторных работ:

а) приведение снарядов в окончательно снаряженный вид;
б) замена в снарядах трубок и взрывателей;
в) замена капсюльных втулок;
г) исправление холостых выстрелов;
д) приведение в порядок стреляных гильз;
е) уничтожение негодных боеприпасов и неразорвавшихся снарядов.

Лабораторные работы, указанные в пунктах „а" — „д", могут вестись только подготовленными для этого красноармейцами, под наблюдением лиц начальствующего состава, на специально отведенной площадке под навесом или в лабораторных палатках, расположенных не ближе 50 *м* от хранилищ с боеприпасами и жилых построек. Никаких работ в хранилищах, за исключением укладки и выемки ящиков, производить не разрешается.

Безопасность во время работ обеспечивается точным соблюдением всех правил и мер предосторожности, предусмотренных соответствующими инструкциями.

Уничтожение негодных боеприпасов ведется под непосредственным руководством лиц начальствующего состава. Неразорвавшиеся снаряды подрываются только на месте их падения.

На огневой позиции перед стрельбой производится осмотр боеприпасов, имеющий целью установить:

а) соответствие снарядов, взрывателей и зарядов орудиям батарей;
б) правильность рассортировки снарядов по весовым знакам, а зарядов — по партиям;
в) чистоту поверхности снарядов и гильз, отсутствие забитостей на пояске и центрующих утолщениях и помятостей на гильзах;
г) наличие колпачков, исправность ударных стержней или мембран в головных взрывателях;
д) наличие кернов или стопорных винтов, крепящих взрыватель и привинтную головку;
е) прочность соединения снарядов с гильзами;
ж) правильность постановки капсюльных втулок;
з) наличие чек и правильность походных установок трубок и взрывателей, где они положены;
и) герметичность зарядов к выстрелам патронного заряжания;
к) наличие предохранительных колпачков на дистанционных трубках.

ОТДЕЛ ШЕСТОЙ

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ И ЗАТВОРОВ

★

ГЛАВА I

УСТРОЙСТВО СТЕНОК ОРУДИЙНЫХ СТВОЛОВ

1. Предварительные понятия

Часть артиллерийского орудия, непосредственно предназначенная для бросания снаряда и сообщения ему правильного полета в желаемом направлении с определенной начальной скоростью, называется стволом. Как известно, для того чтобы снаряд летел правильно, вершиной вперед, и чтобы его ось совпадала с касательной к траектории, необходимо снаряду сообщить вращательное движение вокруг оси его фигуры. Для сообщения снаряду вращательного движения в канале ствола делают винтовые нарезы. Крутизна нарезки, объем зарядной каморы и длина пути снаряда по каналу являются отправными данными для проектирования ствола. Соответственно кривой давлений проектируется такое устройство стенок ствола, которое обеспечивает его прочность во всех отношениях.

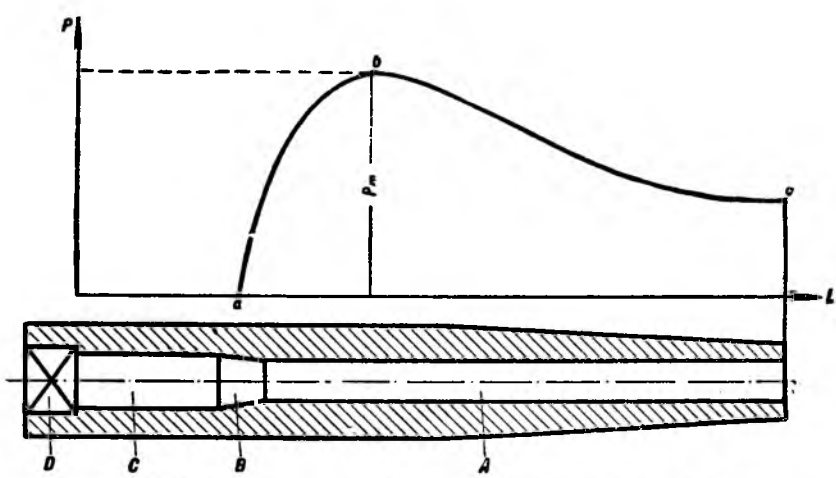


Рис. 146. Кривая давлений на дно снаряда и схема ствола

На рис. 146 схематически представлен продольный разрез ствола артиллерийского орудия. По общему устройству ствол представляет собой металлическую трубу, закрываемую с одного конца затвором. Внутренняя полость ствола называется каналом и может быть разделена на следующие части: A — нарезная часть, B — соединительный конус, C — камора, D — затворное гнездо. В орудиях с раздельным заряжанием в поверхность соединительного конуса упирается ведущий поясок снаряда. В орудиях же

с патронным заряжанием положение снаряда определяется длиной гильзы, почему снаряд несколько не доходит до поверхности конуса.

Та часть ствола, в которой помещаются затвор, заряд и снаряд, называется казенной частью, далее идет средняя часть и, наконец, передняя часть ствола называется дульной частью.

Передний срез ствола называется дульным, задний — казенным. Расстояние между этими срезами называется длиной ствола. Длина ствола измеряется обычно в калибрах, как и другие размеры ствола.

На рис. 146 кривая *abc* показывает характер изменения давления пороховых газов при движении снаряда по каналу ствола. Очевидно, что все сечения ствола, расположенные за точкой максимального давления (p_m) по направлению к дулу, во время выстрела будут подвергаться давлениям тем меньшим, чем дальше они отстоят от места максимального давления. Сечения ствола, расположенные позади ординаты p_m к казенному срезу, будут подвергнуты давлению p_m. Исходя из этого, стенки ствола в дульной части делают тоньше, чем в казенной.

В старинных орудиях в качестве материала применяли сварочное железо, а затем бронзу. Железные стволы более крупных калибров получались сваркой продольно уложенных вокруг сердечника полос, стянутых поперечными кольцами, а более мелких — путем свертывания полос в трубку и сваривания шва. Бронзовые стволы получались отливкой из бронзы с содержанием меди около 90% и олова около 10%. Недостатком бронзы как материала для орудийных стволов являются ее низкие механические свойства.

Первые опыты применения стали как материала для изготовления орудийных стволов относятся к шестидесятым годам XIX столетия, а в девяностых годах для изготовления орудийных стволов начали уже применять никелевую и хромоникелевую стали, обладающие особенно благоприятным сочетанием свойств прочности и вязкости. С изобретением в конце XIX столетия бездымного пороха могущество артиллерийских орудий сильно повысилось. Это выдвинуло более повышенные требования как к самой конструкции ствола, так и к материалам, идущим на его изготовление.

Стволы современных артиллерийских орудий изготовляют преимущественно из легированных сталей с высокими механическими свойствами, обеспечивающими не только прочность орудийных стволов современных артиллерийских систем, но и определенную живучесть.

По характеру устройства стенок стволы современных орудий делят на два типа:

а) нескрепленные (простая труба) и

б) скрепленные.

2. Скрепленные стволы

Простые, нескрепленные стволы применяют в стрелковом оружии, минометах и маломощных артиллерийских орудиях, преимущественно малокалиберных. Нескрепленный ствол (моноблок) изготовляется из одной заготовки и характеризуется отсутствием в его стенках каких-либо внутренних напряжений, созданных искусственно, за исключением тех, которые могли возникнуть при его обработке.

На рис. 146 схематически показан продольный разрез ствола подобного рода.

Скрепленным называется такой ствол, в стенках которого еще до выстрела искусственно созданы напряжения, повышающие его прочность. Искусственно скрепленные стволы состоят в основном из нескольких простых цилиндров различной длины, надетых друг на друга с натяжением. В результате этого внутренняя труба еще до выстрела оказывается сжатой, а скрепляющие цилиндры несколько растянутыми.

Наиболее старым способом скрепления является скрепление ствола кольцами.

Этот способ скрепления (рис. 147) заключается в том, что на трубу надевают с натяжением один или несколько слоев колец так, чтобы

стыки колец нижнего слоя перекрывались кольцами верхнего. Для устранения возможности смещения скрепляющих колец вдоль трубы последние укрепляются упорными кольцами (на рисунке они зачернены). Недостатком этого способа скрепления является то, что, во-первых, скрепляющие кольца не участвуют в сопротивлении поперечному разрыву, так как затвор помещается во внутренней трубе, и, во-вторых, кольца не препятствуют прогибу ствола от его собственного веса.

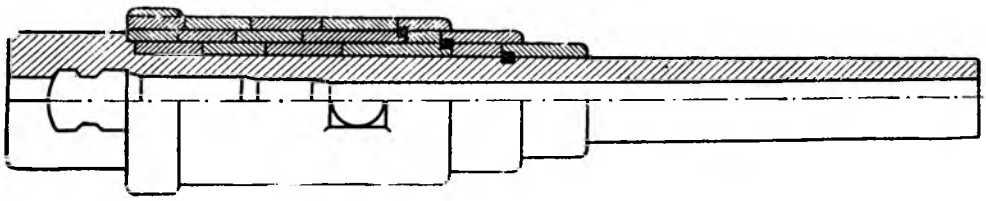


Рис. 147. Ствол, скрепленный кольцами

Наиболее распространенный способ скрепления стволов — это изготовление ствола из нескольких слоев, которые надеваются подобно кольцам один на другой с известным натяжением, вследствие чего каждый слой обжимает с наружной поверхности слой, лежащий под ним. В этих стволах внутренний слой называется трубой, а прочие — скрепляющими оболочками или цилиндрами.

Наружный скрепляющий слой называется кожухом. Стволы небольших калибров, до 152—200 *мм*, чаще всего делаются двух- или трехслойными. В стволах больших калибров (200 *мм* и более) число скрепляющих слоев может доходить до шести.

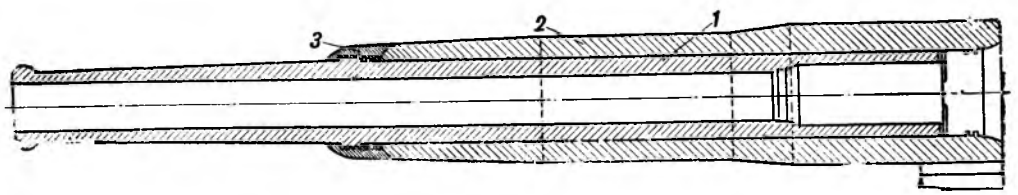


Рис. 148. Ствол, скрепленный кожухом:
1 — внутренняя труба; *2* — кожух; *3* — навинтное кольцо

На рис. 148 представлен продольный разрез двухслойного ствола. На внутреннюю трубу *1* с натяжением надет кожух *2*. Для предотвращения выдвигания трубы из кожуха она соединяется с ним навинтным кольцом *3*. Затвор помещается в кожухе, и поэтому труба в поперечном сопротивлении отрыву казенной части не участвует.

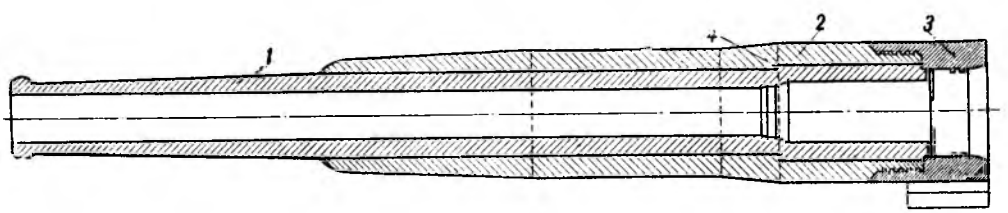


Рис. 149. Ствол, скрепленный кожухом:
1 — внутренняя труба; *2* — кожух; *3* — казенник; *4* — уступ

На рис. 149 показана другая конструкция ствола. В этой конструкции смещение трубы в направлении к дулу предотвращается кольцевым уступом *4*, а смещение назад — упором части торца трубы в навинтной казенник *3*. Навинтные казенники в настоящее время широко распространены, так как при этом значительно упрощается производство стволов. Кроме того, в случае порчи ствола казенник с затвором может быть использован для другого ствола.

Для скрепления труба и кожух изготовляются так, чтобы наружный диаметр трубы $d_н$ был на некоторую величину больше, чем внутренний диаметр кожуха d_2.

Разность $q = d_н - d_2$ называется натяжением. Для того чтобы надеть кожух на трубу, его нагревают до определенной температуры, вследствие чего он расширяется, и тогда его свободно надевают на трубу. После охлаждения кожух, стремясь принять свои прежние размеры, обжимает трубу, чем и достигается скрепление.

Скрепляющие слои могут быть представлены в виде нескольких рядов навитой на трубу проволоки прямоугольного сечения. Такой способ скрепления еще недавно применялся в английских орудиях. Для этой цели стальная проволока[1] с высокими механическими качествами (с временным сопротивлением около 25 000 *кг/см*^{2} и с пределом текучести, близким к нему) навивается на скрепляемый слой. При скреплении проволокой удавалось уменьшить вес ствола по сравнению со стволами, скрепленными другими способами, что было особенно важно для орудий крупных калибров. Напряжения, создаваемые в трубе скрепляющими цилиндрами, при скреплении проволокой появляются вследствие того, что проволока навивается на трубу тоже с определенным переменным или постоянным натяжением.

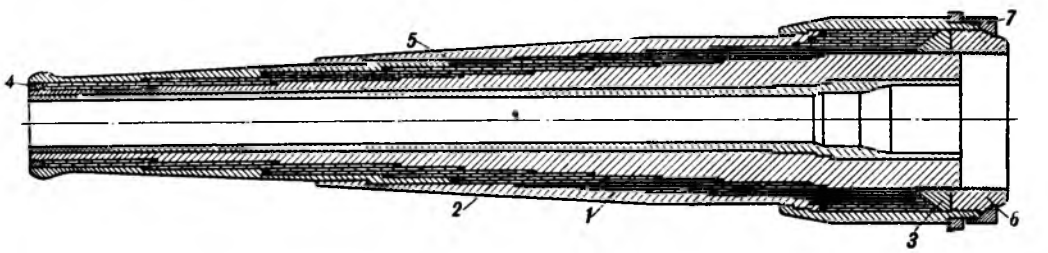


Рис. 150. Ствол, скрепленный проволокой:
1 — труба; *2* — проволока; *3* и *4* — кольца для закрепления проволоки; *5* — оболочка; *6* — казенник; *7* — кольцо

На рис. 150 показан схематический чертеж ствола, скрепленного проволокой. На трубу *1* навито с натяжением несколько рядов стальной проволоки *2*. Концы проволоки в казенной части закреплены в навинченном на трубу кольце *3*, а в дульной — в кольце *4*. Над участком ствола, скрепленного проволокой, надета оболочка *5*, которая состоит по длине из трех частей, соединенных между собой зацепами. Между этими наружными слоями и проволочным слоем оставлен кольцевой зазор, и поэтому оболочка в сопротивлении разрыву участия не принимает. Гнездо затвора сделано в казеннике *6*, ввинченном в оболочку и подпертом кольцом *7*, навинченным на оболочку. Подобное устройство казенника имеет несомненную выгоду в отношении разделения сопротивлений, так как при этом труба освобождается от работы на растяжение, в то время как кожух и казенник не работают в продольном направлении. Однако практика показала, что применение подобного разделения напряжений при изготовлении стволов, скрепленных проволокой, приводит опять к их утяжелению, чем снижается преимущество проволочных стволов, о котором было сказано выше.

Кроме всего сказанного, проволочные слои не обеспечивают также и достаточной продольной жесткости ствола и поэтому не оказывают должного сопротивления прогибу и вибрации его.

Всякий орудийный ствол прогибается от собственного веса, и тем больше, чем меньше продольная жесткость. Кроме того, односторонний нагрев ствола, например от солнечных лучей, также увеличивает прогиб, полученный им от собственного веса. Вследствие большого прогиба увеличивается вибрация ствола и ухудшается кучность боя артиллерийского орудия.

[1] Проволока имеет вид ленты.

Нижеприведенная таблица показывает, насколько ствол, скрепленный проволокой, уступает стволу, скрепленному цилиндрами, в отношении прогиба.

Таблица 55

Прогибы и вибрации стволов, скрепленных различными способами

	30,5-*см* ствол L/50, скрепленный проволокой	30,5-*см* ствол L/50, скрепленный цилиндром
1. Прогиб ствола у дула без температурных влияний	4,45 мин.	2,35 мин.
2. Прогиб ствола у дула при наибольшем нагреве:		
верхней части	7 "	5 "
нижней части	2 "	Менее 1 "
3. Вибрация ствола у дула:		
а) период колебания	0,007633 секунды	0,00687 секунды
б) число колебаний в секунду	131,1	145,5
в) наибольшая скорость колебания, направленная вверх	3,66 *м/сек*	2,134 *м/сек*

Отсюда видно, что уменьшение веса в проволочных орудиях получается за счет ухудшения качеств, влияющих на кучность.

В литературе также имеются указания, что стволы с проволочным скреплением обладают и несколько пониженной живучестью по сравнению со стволами, скрепленными цилиндрами. Причиной этого, очевидно, является наличие большого числа поверхностей раздела между слоями, чем понижается теплопроводность стенок ствола, а следовательно, и его живучесть.

Наиболее новым способом скрепления орудийных стволов является так называемое самоскрепление, или автофретаж. Известно, что если к бруску, сделанному из определенного материала, при простом растяжении приложить нагрузку, несколько превышающую предел текучести, то после разгрузки предел текучести повышается. Подобное явление называется упрочнением или наклепом, причем это упрочнение следует понимать как повышение сопротивляемости материала деформированию, а не как упрочнение материала в смысле повышения сопротивляемости разрушению.

Если трубу подвергнуть внутреннему давлению, несколько превосходящему ее упругое сопротивление, то внутренний слой металла получит упрочнение, или наклеп. Кроме того, после снятия внутреннего давления в стенках трубы возникнут сжимающие напряжения, т. е. будет достигнуто такое напряженное состояние, которое соответствует трубе, состоящей из бесконечно большого числа слоев, надетых друг на друга с натяжением.

Наклеп и напряжения, созданные в стенке трубы, являются теми факторами, которые увеличивают прочность автофретированного ствола.

Попытки к осуществлению этой мысли делались еще давно. Так например, уже в шестидесятых годах прошлого столетия у нас в России Лавров проводил работы по холодной обработке бронзовых стволов протягиванием сквозь канал стального пуансона, чем создавалось упрочнение внутренних слоев металла. Однако этот способ не получил у нас широкого распространения, так как русская артиллерия в это время перешла на изготовление орудийных стволов из стали. Способ, разработанный Лавровым, получил развитие в семидесятых годах в австрийской (Ухациус) и итальянской (Россет) артиллерии. В настоящее время (патент выдан в 1903 г. в Америке) автофретаж орудийных стволов производится при помощи гидравлического давления.

Процесс автофретажа орудийного ствола вкратце сводится к следующему. Берут заготовку ствола в виде моноблока и устанавливают на специальной автофретажной установке, а затем подвергают воздействию внутреннего гидравлического давления. После некоторой выдержки при максимальном давлении заготовка поступает на стабилизацию, т. е. на термическую обработку (нагрев и выдержка моноблока при температуре около 400—500° С с последующим охлаждением на воздухе). Обработанный таким образом моноблок поступает на чистовую обработку.

Преимущества изготовления стволов этим способом по сравнению с другими, при условии одинаковых первоначальных механических свойств металла и размеров ствола, заключаются в следующем:

а) Получается значительная экономия металла ствола, что видно из приведенной ниже таблицы:

Таблица 56

Экономичность автофретированных стволов

Тип ствола	Артиллерийская система	Вес исходного металла в *кг*	Вес готового ствола в *кг*	Экономия в %
Скрепленный кожухом	75-*мм* пушка обр. 1897 г.	2 300	460	147
Автофретированный		1 625		
Скрепленный кожухом	155-*мм* пушка обр. 1917 г.	14 500	3 285	61
Автофретированный		12 500		
Скрепленный кожухом	220-*мм* пушка обр. 1917 г.	31 150	6 855	125
Автофретированный		22 600		

б) Отпадают трудоемкие процессы обработки поверхностей под скрепление, чем ускоряется и удешевляется производство орудийных стволов. Удешевление и ускорение изготовления стволов имеет огромное значение вообще и приобретает особое значение во время войны, когда орудия должны изготовляться в больших количествах.

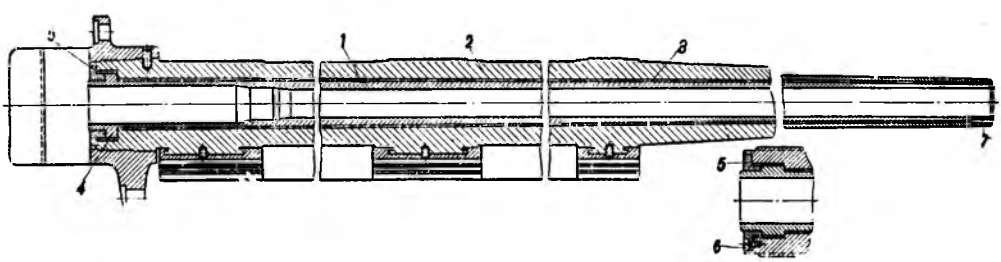


Рис. 151. Ствол со свободным лейнером:

1 — лейнер; *2* — оболочка; *3* — зазор; *4* — кольцевой уступ; *5* — кольцо; *6* — стопорный винт; *7* — шпонка

Вопрос о влиянии автофретажа на живучесть ствола пока остается невыясненным. Однако есть основания полагать, что при правильном проведении процесса автофретажа живучесть ствола не может значительно понизиться, и поэтому такой способ скрепления орудийных стволов заслуживает безусловного внимания.

Чтобы закончить рассмотрение устройства современных орудийных стволов, следует еще сказать несколько слов о стволах со свободным лейнером, свободной трубой и о разборных стволах.

Свободным лейнером называется тонкостенная труба, вставляемая в ствол с зазором.

На рис. 151 схематически представлен разрез ствола со свободным лейнером. В оболочку *2* вставлен лейнер *1*. Между лейнером и оболочкой имеется зазор *3*. От смещения вперед лейнер удерживается кольцевым уступом *4*, а от смещения назад удерживается кольцом *5*, ввинченным в оболочку и закрепленным стопорным винтом *6*. От вращения внутри оболочки лейнер удерживается шпонкой *7*.

Во время выстрела лейнер под давлением пороховых газов расширяется до тех пор, пока не выберется зазор между ним и оболочкой. После этого оболочка также примет участие в сопротивлении продольному разрыву.

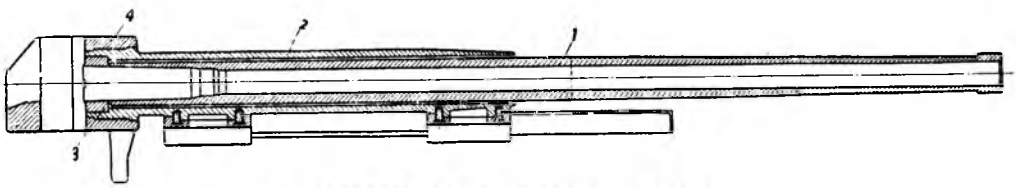


Рис. 152. Ствол со свободной трубой:

1 — свободная труба; *2* — кожух; *3* — кольцевой уступ; *4* — казенник

После выстрела и охлаждения ствола лейнер займет свое прежнее положение, и между ним и оболочкой установится первоначальный зазор.

На рис. 152 представлена конструкция ствола со свободной трубой. Свободная труба *1* вставлена в кожух *2* с зазором. Она отличается от свободного лейнера тем, что имеет более толстые стенки и бо́льшую величину зазора, чем у ствола со свободным лейнером. Кроме того, она охватывается наружной оболочкой не на всей длине: дульная часть не имеет оболочки. Для предохранения от сдвига свободной трубы вперед имеется кольцевой уступ *3*, а от смещения назад труба удерживается навинтным казенником *4*.

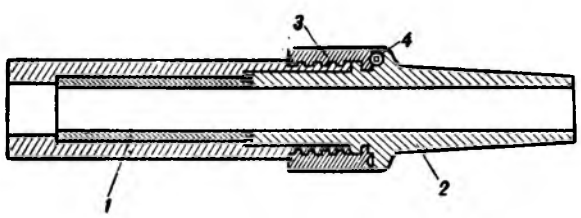


Рис. 153. Разборный ствол:

1 — казенная часть; *2* — дульная часть; *3* — стяжное кольцо; *4* — улитка

Канал ствола подвержен разгару и износу, вызывающим падение начальной скорости и кучности. При конструкции ствола со свободной трубой или лейнером нет надобности после износа отправлять орудие с фронта в тыл для перестволения, так как при наличии запасного лейнера или свободной трубы перестволение производится непосредственно на огневой позиции. Для выполнения этой операции следует лишь свинтить казенник и заменить изношенный лейнер или трубу новыми. Замена лейнера в орудиях среднего калибра занимает около 30 минут.

Горные орудия, а иногда и пехотные, для удобства переноски и перевозки по сильно пересеченной местности делаются разборными. При достаточно мощных орудиях веса их стволов превосходят допустимый вес вьюка, и поэтому выявилась необходимость делать стволы таких орудий разборными.

На рис. 153 представлен схематический продольный разрез разборного ствола 94-*мм* английской пехотной гаубицы, составленного по длине из двух частей. Казенная часть *1* скреплена кожухом и весит 94 *кг*; дульная часть *2*, весом 96 *кг*, скрепления не имеет. Соединяемые части на торцах имеют конические кольцевые выступы, чередующиеся с пазами, которые при соединении обеих частей входят один в другой, чем устраняется прорыв пороховых газов по месту соединения. Прочное и плотное соединение обеих частей достигается стяжным кольцом *3*, которое на внутренней поверхности имеет нарезку, соответствующую нарезке на кожухе. Стяжное кольцо установлено на дульной части так, что может вращаться помощью улитки *4* без продольного перемещения, а поэтому при вращении его обе части плотно притягиваются одна к другой.

Несмотря на удобство такого устройства ствола, оно может найти применение только для маломощных орудий, ибо подобного рода соединение все же полностью не гарантирует от прорыва газов, а в более мощных орудиях разгар и прорыв газов по месту соединения неизбежны.

3. Напряжения и деформации в стенке цилиндрической трубы

Прежде чем приступить к непосредственному изучению вопроса о расчете на прочность стенок орудийного ствола, рассмотрим напряжения и деформации, которые возникают в стенке цилиндрической трубы (рис. 154) с внутренним радиусом r_1, наружным r_2, подвергнутой давлениям на единицу поверхности: внутреннему P_1 и наружному P_2, равномерно распределенным по всей длине трубы, и кроме того, усилию F на единицу поверхности, равномерно распределенному по всей площади обоих оснований трубы.

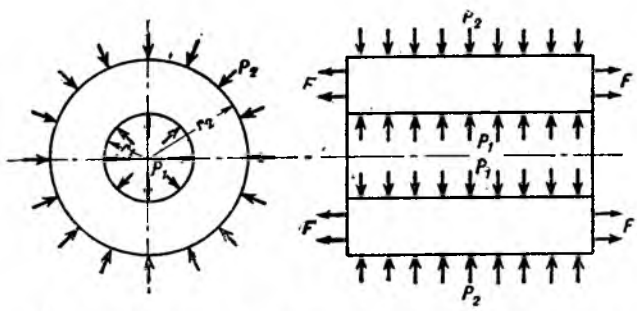


Рис. 154. Схема трубы и приложенных к ней сил

Этот вопрос рассматривается в курсах теории упругости и сопротивления материалов, где он обычно носит название задачи Ляме (Lamè). Все выводы этой задачи даются при нижеследующих допущениях:

а) материал трубы изотропен и однороден;

б) труба или слой ее сохраняет до и после деформации цилиндрическую форму, и всякое сечение остается плоским;

в) частицы стенок трубы под действием внешних сил находятся в равновесии.

Следует указать, что явления, происходящие в стволе во время выстрела, не вполне соответствуют указанным выше допущениям. В орудийном стволе во время выстрела нет равновесия частиц, ибо давление пороховых газов изменяется в широких пределах и за весьма короткий промежуток времени. В результате такого действия внешних сил частицы материала стенок трубы получают большие скорости перемещения за короткий промежуток времени и не будут приходить в положение равновесия, а будут находиться в движении.

Полное решение этой задачи представляет большие трудности, поэтому при проектировании стволов на практике ограничиваются указанными выше допущениями.

Вследствие принятых нами допущений каждая частица стенки трубы под действием давлений P_1 и P_2 и растягивающей силы F на трубу будет иметь лишь два перемещения: δr — по радиусу и δz — в направлении геометрической оси трубы. Перемещения δr по радиусу должны быть равными для одинаковых радиусов трубы. Перемещения δz должны быть также одинаковы для различных значений r, ибо поперечные сечения согласно указанным выше допущениям должны остаться плоскими.

Под действием внешних сил в стенке трубы возникнут напряжения, которые обозначим (см. рис. 155) и назовем: по радиусу σ_r — радиальные напряжения; по касательной к окружности поперечного сечения $\sigma_к$ — касательные, или тангенциальные, напряжения и в направлении оси трубы σ_z — осевые напряжения.

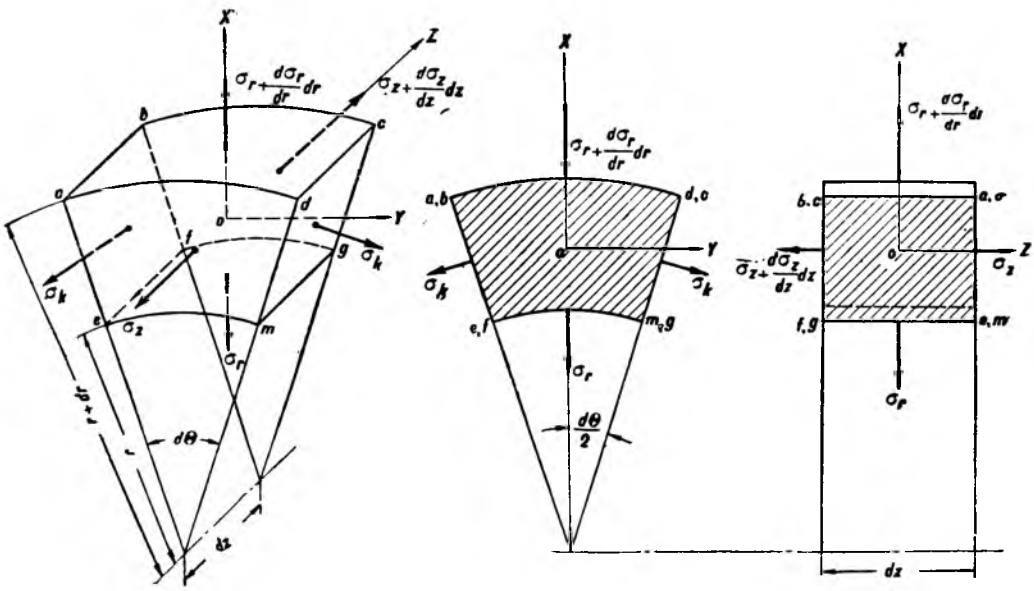


Рис. 155. Напряжения, приложенные к элементу

Для их определения и установления зависимости между ними выделим в стенке трубы бесконечно малый элемент, как показано на рис. 155. Для этого проведем две плоскости поперечного сечения на расстоянии dz одну от другой, две меридианальные плоскости под бесконечно малым углом $d\theta$ и две одноосные с трубой цилиндрические поверхности радиусами r и $r + dr$.

На грани этого бесконечно малого элемента (см. таблицу 57) будут действовать упругие силы, направленные по внешним нормалям к граням, а равнодействующие их будут приложены в центрах граней. Величины равнодействующих определяются как произведение напряжения на величину площади соответствующей грани элемента. Направление напряжений и их обозначения показаны на рис. 155.

Выберем прямоугольную систему координат. Начало координат поместим в центре элемента, который находится на линии, делящей угол $d\theta$ и расстояние dz пополам. Оси координат направим: OX — по радиусу в сторону его увеличения, OY — по касательной к дуге, проведенной через центр элемента и направленной вправо, OZ — параллельно оси трубы, как это показано на рис. 155. Напишем условия равновесия для рассматриваемого нами элемента, подвергнутого действию указанных выше сил упругости.

Таблица 57

Напряжения и силы, действующие на грани элементов, и их проекции на оси координат

Грань элемента	Площадь грани	Напряжение на грани элемента	Сила упругости, действующая на грань элемента	Проекции сил упругости на:		
				ось OX	ось OY	ось OZ
$abcd$	$(r+dr)\,d\vartheta\,dz$	$\sigma_r+\frac{d\sigma_r}{dr}\,dr$	$\left(\sigma_r+\frac{d\sigma_r}{dr}dr\right)(r+dr)\,d\vartheta\,dz$	$\left(\sigma_r+\frac{d\sigma_r}{dr}dr\right)(r+dr)\,d\vartheta\,dz$	0	0
$efgm$	$r\,d\vartheta\,dz$	σ_r	$\sigma_r r\,d\vartheta\,dz$	$-\sigma_r r\,d\vartheta\,dz$	0	0
$abfe$	$dr\,dz$	$\sigma_к$	$\sigma_к\,dr\,dz$	$-\sigma_к dr\,dz\sin\frac{d\vartheta}{2}$	$-\sigma_к dr\,dz\cos\frac{d\vartheta}{2}$	0
$dcgm$	$dr\,dz$	$\sigma_к$	$\sigma_к\,dr\,dz$	$-\sigma_к dr\,dz\sin\frac{d\vartheta}{2}$	$\sigma_к\,dr\,dz\cos\frac{d\vartheta}{2}$	0
$adem$	$r\,d\vartheta\,dr$	σ_z	$\sigma_z r\,d\vartheta\,dr$	0	0	$-\sigma_z r\,d\vartheta\,dr$
$bcgf$	$r\,d\vartheta\,dr$	$\sigma_z+\frac{d\sigma_z}{dz}\,dz$	$\left(\sigma_z+\frac{d\sigma_z}{dz}\,dz\right)r\,d\vartheta\,dr$	0	0	$\left(\sigma_z+\frac{d\sigma_z}{dz}dz\right)r\,d\vartheta\,dr$

Рассмотрим сначала моменты этих сил. Радиальные упругие и осевые силы проходят через начало координат; поэтому их моменты относительно всех осей равны нулю. Тангенциальные силы упругости пересекаются с осями OX и OY; поэтому моменты их относительно указанных осей равны нулю. Что же касается оси OZ, то сумма моментов тангенциальных сил относительно нее точно так же равна нулю, ибо два равных по абсолютной величине момента направлены в разные стороны. Таким образом, все суммы моментов равны нулю, и элемент никакого вращения не получает. Для облегчения составления сумм проекций сил на оси координат составим таблицу (см. таблицу 57).

Из этой таблицы, пренебрегая бесконечно малыми высшего порядка, сокращая на $dr\,d\theta\,dz$ и производя соответствующие математические преобразования, получим:

$$\sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr} - \sigma_к = 0; \tag{1}$$

$$\frac{d\sigma_z}{dz} = 0. \tag{2}$$

Из уравнения (2) следует, что

$$\sigma_z = \text{const}. \tag{3}$$

Уравнение же (1) можно представить в следующем виде:

$$d(r\sigma_r) = \sigma_к dr. \tag{4}$$

Так как радиальные напряжения σ_r по абсолютному значению равны давлению, но обратны по знаку, то

$$\sigma_r = -P,$$

и, следовательно,

$$d(rP) = -\sigma_к dr. \tag{4а}$$

Выражение (4а) можно получить еще и иначе. Вырежем в стенке рассматриваемой трубы концентрическими поверхностями с радиусами r и $r + dr$ цилиндр, имеющий длину, равную единице. Рассмотрим половину этого цилиндра, расположенную выше горизонтального диаметра AB (рис. 156). Рассматривая этот полуцилиндр отдельно от нижнего, мы должны к плоскостям раздела ab и $a'b'$ приложить тангенциальные напряжения $\sigma_к$, представляющие влияние нижнего полуцилиндра на верхний. Так как толщина стенки полуцилиндра бесконечно мала, то величину σ_y можно принять постоянной. Если через P и $P + \frac{dP}{dr}dr$ обозначим те давления, которые действуют на поверхностях радиусов r и $r + dr$, то полуцилиндр будет находиться под действием следующих сил: по направлению кверху — равнодействующей силы $2Pr$, по направлению книзу — силы

$$2\left(P + \frac{dP}{dr}dr\right)(r + dr) + 2\sigma_к dr.$$

Из условия равновесия получим:

$$\left(P + \frac{dP}{dr}dr\right)(r + dr) + \sigma_к dr - P = 0.$$

Пренебрегая бесконечно малыми величинами второго порядка, получим:

$$P + r\frac{dP}{dr} + \sigma_к = 0, \text{ или } d(P_r) = -\sigma_к dr.$$

Под действием внешних сил P_1, P_2 и F в стенке трубы возникнут также деформации: ε_r — относительная радиальная деформация, $\varepsilon_к$ — относительная тангенциальная деформация и ε_z — относительная осевая деформация.

Возьмем сечение трубы (рис. 157) плоскостью, перпендикулярной к ее оси, а на ней точки m и m', находящиеся от оси трубы, до приложения внешних сил, на расстоянии r и $r+dr$. Пусть под действием внешних сил точка m переместится на величину δr и займет положение m_1; тогда точка m' переместится на $\delta r + \frac{d\delta r}{dr} dr$ и займет положение m_1'. Если первоначальное расстояние между точками было dr, то после перемещения оно будет $m_1 m_1' = dr + \frac{d\delta r}{dr} dr$.

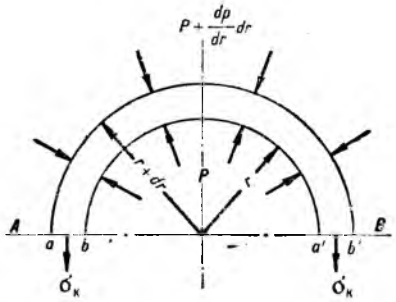


Рис. 156. Напряжения, приложенные к полуцилиндру

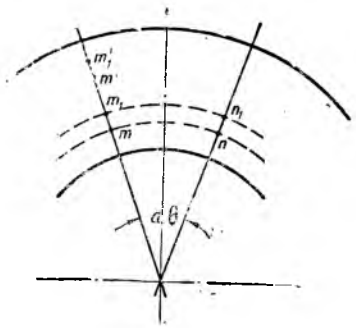


Рис. 157. Схема стенки трубы

Величина $\frac{d\delta r}{dr} dr$ представляет абсолютную радиальную деформацию. Относительная же радиальная деформация получится делением ее на dr, т. е.

$$\varepsilon_r = \frac{d\delta r}{dr}. \tag{5}$$

Для определения относительной тангенциальной деформации рассмотрим две точки m и n, лежащие на одной окружности. Когда точка m переместится по своему радиусу на величину δr и займет положение m_1, то и точка n переместится в направлении своего радиуса на ту же величину и займет положение n_1. Так как $\overset{\frown}{mn} = rd\theta$, а $\overset{\frown}{m_1 n_1} = (r+\delta r)\, d\theta$, то изменение длины дуги mn будет $\delta r d\theta$ и, следовательно, относительная тангенциальная деформация будет равна:

$$\varepsilon_к = \frac{\delta r}{r}. \tag{6}$$

Точно таким же образом можно определить и относительную осевую деформацию

$$\varepsilon_z = \frac{d\delta z}{dz}. \tag{7}$$

Пользуясь выражениями для ε_r и $\varepsilon_к$, найдем зависимость между ними. Найдя производную $\frac{d\varepsilon_к}{dr}$, будем иметь:

$$\frac{d\varepsilon_к}{dr} = \frac{d}{dr}\left(\frac{\delta r}{r}\right) = \frac{1}{r}\left(\frac{d\delta r}{dr} - \frac{\delta r}{r}\right),$$

откуда

$$\frac{d\varepsilon_к}{dr} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_к}{r}. \tag{8}$$

4. Выражение напряжений и деформаций в функции внешних давлений и размеров трубы

Из курса сопротивления материалов известно, что между нормальными напряжениями и деформациями по трем взаимно перпендикулярным осям для прямоугольного параллелепипеда существуют следующие зависимости:

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{1}{E}(\sigma_r - \mu\sigma_к - \mu\sigma_z)\\ \varepsilon_к &= \frac{1}{E}(\sigma_к - \mu\sigma_r - \mu\sigma_z)\\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E}(\sigma_z - \mu\sigma_r - \mu\sigma_к)\end{aligned}\right\} \qquad (9)$$

где μ — коэфициент Пуассона;

E — модуль упругости первого рода (модуль Юнга).

Пользуясь выведенной зависимостью (уравнение 1)

$$\sigma_к = \sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr},$$

исключим $\sigma_к$ из приведенных выше уравнений (9). После этого получим:

$$\left.\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{1}{E}\left[(1-\mu)\sigma_r - \mu r\frac{d\sigma_r}{dr} - \mu\sigma_z\right]\\ \varepsilon_к &= \frac{1}{E}\left[(1-\mu)\sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr} - \mu\sigma_z\right]\\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E}\left[\sigma_z - 2\mu\sigma_r - \mu r\frac{d\sigma_r}{dr}\right]\end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Воспользуемся также выведенной зависимостью $\frac{d\varepsilon_к}{dr} = \frac{\varepsilon_r - \varepsilon_к}{r}$ и составим ее из первого и второго уравнений системы (10), полагая $\sigma_z = \text{const}$. При этом получим:

$$\frac{d}{dr}\left[(1-\mu)\sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr}\right] = -(\mu+1)\frac{d\sigma_r}{dr},$$

или

$$\frac{d}{dr}\left(2\sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr}\right) = 0.$$

Умножая это уравнение на dr и интегрируя, получим:

$$2\sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr} = 2C_1,$$

где C_1 — постоянная интегрирования.

Умножая далее обе части последнего уравнения на rdr, получим:

$$2\sigma_r r\,dr + r^2\frac{d\sigma_r}{dr}dr = 2C_1 r\,dr,$$

или

$$d(r^2\sigma_r) = C_1 d(r^2).$$

Производя второе интегрирование и деля обе части уравнения на r^2, получим:

$$\sigma_r = C_1 - \frac{C_2}{r^2}, \qquad (11)$$

где C_2 — новая постоянная интегрирования.

Для того чтобы выразить тангенциальное напряжение через C_1, C_2 и r воспользуемся уравнением

$$\sigma_к = \sigma_r + r\frac{d\sigma_r}{dr},$$

внесем в него значение σ_r и $r\frac{d\sigma_r}{dr}$, в результате чего получим:

$$\sigma_к = C_1 + \frac{C_2}{r^2}. \tag{12}$$

Постоянные интегрирования C_1 и C_2 определим из имеющихся условий. Для внутренней поверхности имеем: $r = r_1$; $P = P_1$; $\sigma_r = \sigma_{r_1}$, причем P_1 по абсолютной величине равно σ_{r_1}, но обратно по знаку, т. е.

$$\sigma_{r_1} = -P_1.$$

Для наружной же поверхности: $r = r_2$; $P = P_2$; $\sigma_r = \sigma_{r_2}$; $P_2 = -\sigma_{r_2}$. Имея это в виду и пользуясь уравнением (11), можем написать:

$$P_1 = \frac{C_2}{r_1^2} - C_1;$$

$$P_2 = \frac{C_2}{r_2^2} - C_1.$$

Решая эти уравнения совместно, получим:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \\ C_2 &= \frac{(P_1 - P_2) r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

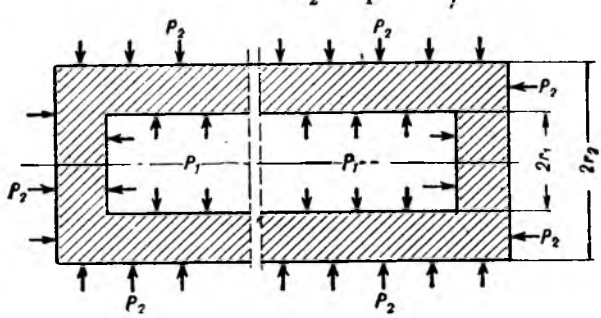


Рис. 158

В случае когда в трубе действует лишь одно внутреннее давление P_1, т. е. $P_2 = 0$, значения C_1 и C_2 будут:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= \frac{P_1 r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \\ C_2 &= \frac{P_1 r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \end{aligned}\right\} \tag{14}$$

Если труба подвергнута одному лишь наружному давлению P_2, т. е. $P_1 = 0$, получим:

$$\left.\begin{aligned} C_1 &= -\frac{P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \\ C_2 &= -\frac{P_2 r_1^2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} \end{aligned}\right\} \tag{15}$$

Что же касается осевого напряжения σ_z, то для трубы с донышами, когда на их наружную и внутреннюю поверхности действуют те же давления, что и на внутреннюю и наружную цилиндрические поверхности, как видно из рис. 158:

$$\sigma_z = \frac{\pi r_1^2 P_1 - \pi r_2^2 P_2}{\pi (r_2^2 - r_1^2)},$$

или

$$\sigma_z = \frac{P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2} = C_1. \tag{16}$$

Подставляя значения C_1 и C_2 в выражения для σ_r и $\sigma_к$, а эти последние—в выражение (9) для ε_r, $\varepsilon_к$ и ε_z, и производя алгебраические преобразования, принимая при этом $\mu = \frac{1}{3}$, получим для трубы с донышами следующие зависимости:

$$\left.\begin{aligned}
\sigma_к &= P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{r^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \\
E\varepsilon_к &= \frac{2}{3} P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{2r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{2}{3} P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{r^2 + 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{1}{3}\sigma_z \\
P &= P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{r_2^2 - r^2}{r_2^2 - r_1^2} + P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{r^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \\
E\varepsilon_r &= -\frac{2}{3} P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{2r_2^2 - r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{2}{3} P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{r^2 - 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{1}{3}\sigma_z \\
\sigma_z &= \text{const}; \\
E\varepsilon_z &= \sigma_z = \frac{2}{3} \cdot \frac{P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}
\end{aligned}\right\} \tag{17}$$

Выражения, состоящие из произведения относительной деформации на модуль упругости первого рода, а именно: $E\varepsilon_к$, $E\varepsilon_r$, $E\varepsilon_z$, называются приведенными напряжениями—тангенциальным, радиальным и осевым. Зная приведенное напряжение, нетрудно определить величину соответствующей относительной деформации.

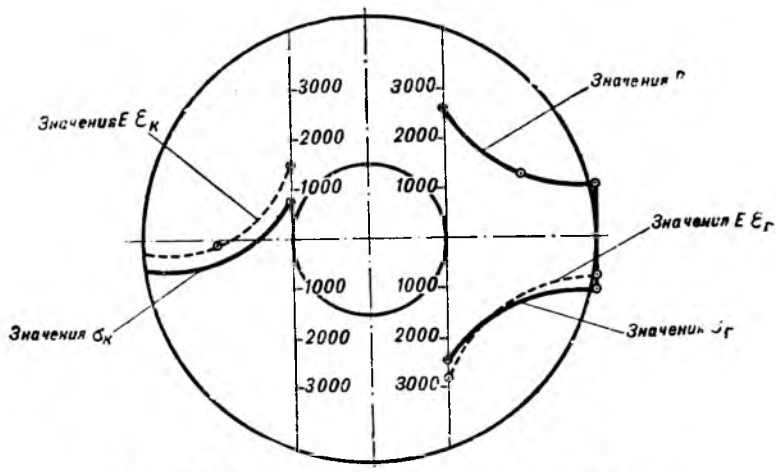


Рис. 159. Диаграмма напряжений в стенке трубы

В том случае когда труба доньев не имеет, в приведенных выше выражениях надо положить $\sigma_z = 0$.

На графике (рис. 159) показано, как изменяются напряжения и деформации в стенке трубы с радиусами $r_1 = 6$ *см* и $r_2 = 18$ *см*, подвергнутой внутреннему давлению $P_1 = 2\,400$ *кг/см²* и наружному давлению $P_2 = 1\,000$ *кг/см²*.

5. Прочное сопротивление простого однослойного ствола

Ствол, как и всякая конструкция, должен работать не разрушаясь. Разрушение может произойти при напряжениях, близких либо к пределу текучести, либо к пределу упругости, т. е. когда в отдельных частях конструкции появятся остаточные деформации. На основании механических характеристик металла конструктор судит о пригодности данного материала для осуществления конструкции и устанавливает ее прочные размеры. Прочные размеры конструкции, помимо механических качеств материала, зависят также от принятой для расчета формулы и от метода выбора допускаемых напряжений. Последние выбираются на основании так называемого коэфициента запаса прочности. Характер расчетных формул зависит от той гипотезы прочности, которая принята в основу, т. е. теории, помощью которой можно, исходя из знания поведения материала при простом сжатии или растяжении, указать, когда наступит разрушение материала при возникновении любой сложной системы напряжений.

Выше, при рассмотрении элемента, вырезанного из стенки цилиндрической трубы, подвергнутой внутреннему давлению P_1 и наружному P_2, было установлено, что в стенках трубы существуют три главных напряжения: $\sigma_r = -P$, $\sigma_к$ и σ_z.

В зависимости от размеров трубы и значений P_1 и P_2 одно из этих напряжений всегда будет иметь наибольшее значение. Согласно гипотезе прочности, так называемой гипотезе максимальных напряжений (гипотеза Renkinés), прочность материала не будет нарушена, если максимальное напряжение не превосходит предела упругости металла. Если допустить, что максимальное значение имеет тангенциальное напряжение $\sigma_к$, то указанная гипотеза может быть представлена в следующем виде:

$$\sigma_к \leqslant \sigma_e,$$

где σ_e — предел упругости материала трубы.

В настоящее время эта гипотеза прочности не применяется. Расчетные формулы для орудийных стволов составлены на основании гипотезы прочности, называемой гипотезой наибольших деформаций (гипотеза St. Venant), согласно которой прочность не будет нарушена, если будет соблюдено условие:

$$E\varepsilon_к \leqslant \sigma_e;$$

$$|E\varepsilon_r| \leqslant \sigma_e,$$

в зависимости от того, что больше: $E\varepsilon_к$ или $|E\varepsilon_r|$.

Следует еще указать, что на практике расчет орудийных стволов ведут на несколько повышенное давление по сравнению с балистическим давлением p, которое действует в канале ствола, а именно: на $P_1 = \eta p$, где η носит название коэфициента запаса прочности и для наших орудийных стволов должно быть не менее 1,35 при расчете по гипотезе наибольших деформаций.

После этих предварительных замечаний приступим к составлению расчетных формул для простого, нескрепленного ствола согласно принятой гипотезе прочности, пользуясь выведенными выше зависимостями.

Простой нескрепленный ствол в любом его сечении можно представить как цилиндрическую трубу с радиусами r_1 и r_2, подвергнутую изнутри давлению пороховых газов p_1 (рис. 160). За внутренний радиус r_1 в данном случае принимается полудиаметр канала по дну нарезов. Как уже было указано, расчет на прочность ведется не на то давление p, которое получено в результате решения задачи внутренней балистики, а на $P_1 = \eta p$.

В случае если труба подвергнута лишь одному внутреннему давлению, величина $E\varepsilon_к$ всегда больше $|E\varepsilon_r|$, и, как уже было показано,

$$E\varepsilon_к = \frac{2}{3} P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{2r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{2}{3} P_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{2r_1^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{1}{3}\sigma_z. \tag{18}$$

Так как в нашем случае $P_2 = 0$, и полагая, что растягивающего усилия нет, т. е. что и $\sigma_z = 0$, получим:

$$E\varepsilon_к = \frac{2}{3} P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{2r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{19}$$

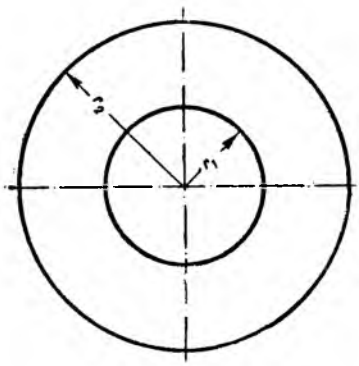


Рис. 160. Поперечное сечение трубы

Нетрудно убедиться, что $E\varepsilon_к$ при $r = r_1$, т. е. на внутренней поверхности ствола, будет иметь максимальное значение. Напишем его значение:

$$E\varepsilon_{к_1} = \frac{2}{3} P_1 \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{20}$$

Согласно принятой гипотезе прочности должно быть соблюдено условие $E\varepsilon_{к_1} \leqslant \sigma_{e_1}$. Принимая $E\varepsilon_{к_1} = \sigma_{e_1}$ и решая уравнение относительно P_1, получим:

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_{e_1} \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2}. \tag{21}$$

Давление P_1, вычисленное по формуле (21), есть то предельное давление, при котором прочность ствола еще не нарушается, а на его внутренней поверхности появляются лишь упругие деформации. Это давление называется пределом упругого или прочного сопротивления ствола.

Рассматривая формулу (21), легко заметить, что предел упругого сопротивления простого ствола можно повысить или увеличением предела упругости металла или увеличением толщины стенок (для заданного калибра увеличением r_2). Увеличение предела упругости имеет известные границы, так как возможности металлургии ограничены.

Для выяснения влияния величины наружного радиуса рассмотрим, к чему стремится P_1, когда r_2 стремится к бесконечности. Разделим числитель и знаменатель в формуле (21) на r_2^2:

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_{e_1} \frac{1 - \frac{r_1^2}{r_2^2}}{2 + \frac{r_1^2}{r_2^2}}.$$

При $r_2 = \infty$ отношение $\frac{r_1^2}{r_2^2} = 0$ и, следовательно,

$$P_1 = \frac{3}{4}\sigma_{e_1}. \tag{22}$$

Таким образом, при увеличении толщины стенок ствола и при сохранении одного и того же предела упругости σ_{e_1} упругое его сопротивление P_1 стремится к определенному пределу. Как показывают исследования, при увеличении отношения $\frac{r_2}{r_1}$ свыше 3,5 возрастание P_1 весьма незначительно. Поэтому орудийные стволы моноблоки с наружным радиусом больше чем 3,5 r_1 на практике не применяются. Дальнейшее увеличение толщины стенок невыгодно, потому что даже небольшое увеличение прочности приводит к излишнему утяжелению ствола и нерациональному использованию металла.

На рис. 161 показано изменение величины $E\varepsilon_к$ в стенке ствола при отношении $\frac{r_2}{r_1} = 3$ и при давлении $P_1 = 2\,400$ *кг/см*^{2}.

Из рис. 161 видно, как неравномерно напряжены отдельные слои металла стенок ствола. В то время как внутренние слои имеют величину $E\varepsilon_{к_1} = 3\,800$ *кг/см*^{2}, на наружной поверхности эта величина меньше в шесть раз. Следовательно, наружные слои принимают мало участия в сопротивлении разрыву. Поэтому перед конструкторами давно встал вопрос о создании такой конструкции стенок ствола, при которой все слои металла ствола были бы более равномерно напряжены, а напряжения и деформации, возникающие на его внутренней поверхности. уменьшены. Такое решение в значительной своей части найдено устройством искусственно скрепленных стволов, о чем будет сказано дальше.

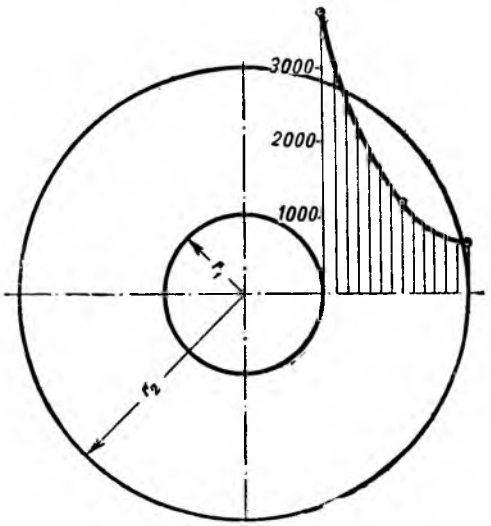


Рис. 161. Диаграмма напряжений в стенке трубы

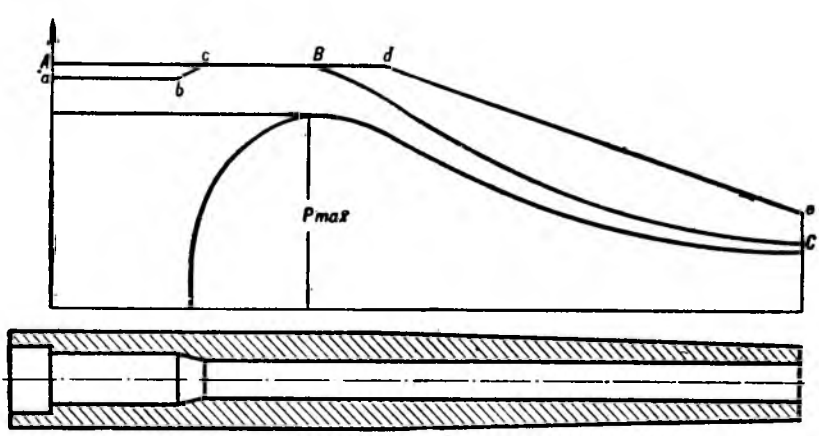


Рис. 162. Схема нескрепленного ствола и кривые желаемого и действительного прочного сопротивления

Практически расчет однослойного ствола ведется следующим образом. Имея кривую давлений в канале ствола в функции от пути снаряда [$p = f(l)$], увеличивают все ординаты ее, умножая соответствующие им давления на коэфициент запаса прочности. Полученная таким образом кривая *ABC* (рис. 162) называется кривой желаемого прочного сопротивления ствола.

Имея эту кривую и исходя из конструктивных или других соображений, задаются наружным радиусом по месту максимального давления или по одному из сечений каморы и, пользуясь выражением для предела прочного сопротивления, определяют предел упругости металла.

Возможен и другой путь. Задаваясь пределом упругости металла ствола и пользуясь тем же уравнением, определяют наружный радиус r_2 в месте максимального давления. Получив таким образом r_2, казенную часть ствола обычно делают цилиндрической, как это показано на рис. 162, а к дулу наружное очертание сводят на конус. Если определить наружный радиус у дула из условия прочности для дульного давления, то стенки ствола у дула обычно получаются очень тонкими и не обеспечивают ствол от прогиба при ударах и т. п. Поэтому в дульной части обычно допускается двух-трехкратный запас прочности.

После того как определены наружные размеры ствола, необходимо определить прочное сопротивление во всех его сечениях, где имеются изменения наружного или внутреннего радиуса, и построить ломаную *abcde*, называемую кривой действительного прочного сопротивления ствола. При этом необходимо соблюсти условия, чтобы коэфициент запаса прочности по сечениям каморы был не менее 1,2, а в прочих сечениях не менее 1,35. Помещением на чертеже проекта ствола кривых желаемого и действительного сопротивления достигается ясное представление о прочности ствола в различных его сечениях.

6. Необходимость скрепления орудийных стволов

Как уже было установлено, одним увеличением толщины стенок нескрепленного ствола нельзя значительно повысить его прочное сопротивление. Увеличение же предела упругости металла ограничивается возможностями металлургии.

Анализируя формулы системы (17), заметим, что деформации и напряжения на внутренней поверхности трубы получаются меньшими, если на внутреннюю и наружную ее поверхности давления действуют одновременно. Наружное давление на внутреннюю трубу в скрепленном стволе создается при помощи надевания одного слоя на другой с натяжением. В результате этого получается повышение предела прочного сопротивления внутренней трубы.

При рассмотрении вопроса о стволах, скрепленных цилиндрами, примем следующие допущения.

1. Каждый из цилиндров скрепленного ствола соответствует условиям задачи Лямэ, т. е. слои или цилиндры передают один другому только нормальные давления. По оси ствола слои подвержены давлениям или растягивающим усилиям, равномерно распределенным по площадям кольцеобразных сечений каждого слоя.

2. Передача давления от слоя к слою достигается постоянным плотным прилеганием их поверхностей.

3. Скольжение слоев относительно друг друга отсутствует.

4. Каждая из сил, приложенных к слою, производит в нем соответственные изменения, независимо от того, действуют ли в то же время какие-либо другие силы или нет.

При дальнейшем рассмотрении будем считать, что модули упругости первого рода E металла всех слоев одинаковы и растягивающие усилия ни на один из слоев не действуют, т. е. в формулах системы (17) при их применении будем полагать $\sigma_z = 0$.

7. Силы, напряжения и деформации в стенке скрепленного ствола

Рассмотрим скрепленный ствол, состоящий из двух слоев. Поперечное сечение подобного ствола изображено на рис. 163.

Так как кожух надет на трубу с натяжением, то еще до выстрела между ними будет существовать давление, которое назовем произведенным. Это давление на поверхности радиуса r_2 обозначим через P'_2.

На внутренней и наружной поверхностях ствола произведенные давления равны нулю.

Напряжения и деформации, вызываемые ими, назовем также произведенными и обозначим через:

$$\sigma'_r;\ \sigma'_к;\ \varepsilon'_r;\ \varepsilon'_к \text{ и } \varepsilon'_z.$$

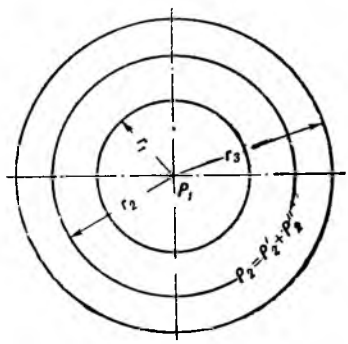


Рис. 163. Поперечное сечение скрепленного ствола

Во время выстрела, когда в канале ствола возникнет давление P_1, между кожухом и трубой появится давление, которое назовем дополнительным давлением и обозначим через P''_2.

Напряжения и деформации, соответствующие этому давлению, точно так же назовем дополнительными и обозначим через

$$\sigma''_r;\ \sigma''_к;\ \varepsilon''_r;\ \varepsilon''_к \text{ и } \varepsilon''_z.$$

Суммарное давление, которое получается между слоями во время выстрела, назовем действительным или равнодействующим давлением и обозначим через P_2. Оно определяется из равенства

$$P_2 = P'_2 + P''_2.$$

Аналогично этому из произведенных и дополнительных деформаций и напряжений будут составляться действительные или равнодействующие напряжения и деформации, а именно:

$$\sigma_r = \sigma'_r + \sigma''_r;$$
$$\sigma_к = \sigma'_к + \sigma''_к;$$
$$\varepsilon_r = \varepsilon'_r + \varepsilon''_r;$$
$$\varepsilon_к = \varepsilon'_к + \varepsilon''_к$$

и т. д.

Следует заметить, что равнодействующее давление и его составляющие, действующие на цилиндрические поверхности с радиусом r_2, по отношению к кожуху будут внутренними давлениями, а по отношению к трубе — наружными.

8. Определение дополнительных давлений из условия плотного прилегания

Принятое допущение, что каждая сила, приложенная к слою, производит в нем соответствующие изменения, независимо от того, действуют ли в то же время какие-либо другие силы или нет, позволяет рассматривать двухслойный скрепленный ствол как моноблок с внутренним радиусом r_1 и наружным r_3. Для определения дополнительных давлений в этом случае можно применить формулу для давлений из системы уравнений (17).

Так как дополнительные давления между слоями возникают как результат действия давления P_1 в канале ствола при наружном давлении, равном нулю, то формула для дополнительного давления может быть написана в следующем виде:

$$P''_2 = P_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot \frac{r_3^2 - r_2^2}{r_3^2 - r_1^2}. \qquad (23)$$

Однако это положение остается справедливым лишь при условии, что модули упругости металла E для трубы и кожуха одинаковы. Для доказательства последнего определим дополнительные давления из условий плотного прилегания одного слоя к другому. Рассмотрим случай, когда на трубу с радиусами r_1 и $r_{1,н}$ действует внутреннее давление P_1 и наружное P''_2, а на кожух с радиусами r_2 и r_3 действует внутреннее давление $-P''_2$, наружное же давление равно нулю.

Пользуясь формулой для приведенных тангенциальных напряжений из системы уравнений (17), напишем значение для дополнительного приведенного тангенциального напряжения $E\varepsilon''_{к_1,н}$ на наружной поверхности трубы. Полагая в указанной формуле $P_2 = P''_2$ и $r = r_2$, получим:

$$E\varepsilon''_{к_1,н} = P_1 \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{2}{3} P''_2 \frac{r_2^2 + 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{24}$$

Проделаем то же самое и для внутренней поверхности кожуха. Так как кожух имеет наружный радиус r_3, а внутренний r_2, то для составления выражения дополнительного приведенного тангенциального напряжения $E\varepsilon''_{к_2}$ на внутренней поверхности кожуха в общей формуле для тангенциальной деформации положим:

$$P_1 = P''_2;\ P_2 = 0;\ r_1 = r_2;\ r_2 = r_3 \text{ и } r = r_2.$$

Имея это в виду, получим:

$$E\varepsilon''_{к_2} = \frac{2}{3} P''_2 \frac{2r_3^2 + r_2^2}{r_3^2 - r_2^2}. \tag{25}$$

Так как до и после действия давления P_1 труба и кожух плотно прилегают друг к другу, то

$$E\varepsilon''_{к_1,н} - E\varepsilon''_{к_2} = 0.$$

Подставляя значения $E\varepsilon''_{к_1,н}$ и $E\varepsilon''_{к_2}$ и произведя необходимые алгебраические преобразования для условий плотного прилегания первого и второго слоев, получим следующие выражения:

$$P_1 \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - P''_2 \frac{2r_2^2 (r_3^2 - r_1^2)}{(r_3^2 - r_2^2)(r_2^2 - r_1^2)} = 0. \tag{26}$$

Решая последнее уравнение относительно P''_2, получим:

$$P''_2 = P_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot \frac{r_3^2 - r_2^2}{r_3^2 - r_1^2}. \tag{27}$$

Сравнивая полученные выражения с уравнением (23), видим, что результаты получены тождественные. Это указывает на правильность высказанного положения.

9. Предел возможного сопротивления скрепленного ствола по тангенциальной и радиальной деформациям

В скрепленном стволе между трубой и кожухом действует произведенное давление P'_2. Во время выстрела, когда в канале ствола возникает давление P_1, между соприкасающимися поверхностями этих частей появляется действительное давление P_2.

Рассмотрим трубу, имеющую радиусы r_1, r_2 и подвергнутую действию давлений P_1, P_2.

На основании уравнений системы (17) напишем выражение для тангенциального напряжения $\sigma_{к_1}$ на внутренней поверхности трубы. Полагая при этом $r = r_1$, получим:

$$\sigma_{к_1} = P_1 \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - P_2 \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{28}$$

До приложения в канале ствола давления P_1 на наружную поверхность трубы действует давление P'_2, и вследствие этого на внутренней поверхности канала ствола будет существовать тангенциальное напряжение сжатия $\sigma'_{к_1}$, значение которого напишем следующим образом:

$$\sigma'_{к_1} = -P'_2 \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{29}$$

$\sigma'_{к_1}$ — величина отрицательная. Полагая $\sigma'_{к_1} = -T_1$, где T_1 — величина положительная, получим:

$$T_1 = P'_2 \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{30}$$

Необходимо заметить, что и произведенное приведенное тангенциальное напряжение $E\varepsilon'_{к_1}$ на внутренней поверхности трубы имеет то же значение, что и $\sigma'_{к_1}$, ибо на основании уравнений системы (17) можно написать:

$$E\varepsilon'_{к_1} = -P'_2 \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}. \tag{31}$$

Сложив почленно уравнения (28) и (30), получим:

$$\sigma_{к_1} + T_1 = P_1 \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - (P_2 - P'_2) \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Замечая, что $P_2 - P'_2 = P''_2$, можно написать:

$$\sigma_{к_1} + T_1 = P_1 \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - P''_2 \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Подставляя значение P''_2 из уравнения (27), после соответствующих алгебраических преобразований получим:

$$\sigma_{к_1} + T_1 = P_1 \frac{r_3^2 + r_1^2}{r_3^2 - r_1^2}. \tag{32}$$

Решая это уравнение относительно P_1, имеем:

$$P_1 = (\sigma_{к_1} + T_1) \frac{r_3^2 - r_1^2}{r_3^2 + r_1^2}. \tag{33}$$

На основании уравнений системы (8) при $\sigma_z = 0$ и имея в виду, что $\sigma_{r_1} = -P_1$, выражение приведенного тангенциального напряжения $E\varepsilon_{к_1}$ на внутренней поверхности трубы может быть написано в следующем виде:

$$E\varepsilon_{к_1} = \sigma_{к_1} + \frac{1}{3} P_1,$$

откуда

$$\sigma_{к_1} = E\varepsilon_{к_1} - \frac{1}{3} P_1. \tag{34}$$

Подставляя полученное значение $\sigma_{к_1}$ в выражение (33), получим:

$$P_1 = \left(E\varepsilon_{к_1} - \frac{1}{3} P_1 + T_1\right) \frac{r_3^2 - r_1^2}{r_3^2 + r_1^2}.$$

Решая это уравнение относительно P_1, получим:

$$P_1 = \frac{3}{2} (E\varepsilon_{к_1} + T_1) \frac{r_3^2 - r_1^2}{2r_3^2 + r_1^2}. \tag{35}$$

Согласно принятой гипотезе прочности (на внутренней поверхности канала во время выстрела не должно появляться остаточных деформаций) необходимо соблюсти условие, чтобы в пределе $E\varepsilon_{к_1} = \sigma_{e_1}$, где σ_{e_1} — предел упругости металла трубы или первого слоя скрепленного ствола.

Имея это в виду, получим для предела возможного сопротивления двухслойного скрепленного ствола выражение

$$P_1 = \frac{3}{2} (\sigma_{e_1} + T_1) \frac{r_3^2 - r_1^2}{2r_3^2 + r_1^2}. \tag{36}$$

Для получения предела возможного сопротивления по радиальной деформации напишем выражение, пользуясь уравнением системы (8), для абсолютного значения приведенного радиального напряжения $|E\varepsilon_{r_1}|$ на внутренней поверхности трубы:

$$|E\varepsilon_{r_1}| = P_1 + \frac{1}{3} \sigma_{к_1},$$

откуда

$$\sigma_{к_1} = 3|E\varepsilon_{r_1}| - 3P_1.$$

Подставляя полученное значение $\sigma_{к_1}$ в уравнение (33), после соответствующих алгебраических преобразований получим:

$$P_1 = \frac{3}{2}\left(|E\varepsilon_{r_1}| + \frac{1}{3} T_1\right) \frac{r_3^2 - r_1^2}{2r_3^2 - r_1^2}. \tag{37}$$

Полагая $|E\varepsilon_{r_1}| = \bar{\sigma}_{e_1}$, где $\bar{\sigma}_{e_1}$ — предел упругости материала на сжатие, и принимая $\bar{\sigma}_{e_1} = \sigma_{e_1}$, можем написать:

$$P_1 = \frac{3}{2}\left(\sigma_{e_1} + \frac{1}{3} T_1\right) \frac{r_3^2 - r_1^2}{2r_3^2 - r_1^2}. \tag{38}$$

Выражение (38) представляет собой предел возможного сопротивления по радиальной деформации для двухслойного ствола.

Как показывают исследования, этим выражением следует пользоваться при проектировании скрепленного ствола, когда

$$P_1 > \frac{3}{4} \sigma_{e_1}.$$

Сопоставляя формулы (36) и (21), видим, что предел возможного сопротивления скрепленного ствола, при условии равенства внутренних и наружных радиусов, можно рассматривать как предел прочного сопроти-

вления простой трубы с пределом упругости, равным $\sigma_{e_1} + T_1$. Исходя из этого, к скрепленному стволу можно отнести все, что было сказано в отношении ствола нескрепленного, а именно:

а) с увеличением наружного радиуса скрепленного ствола предел возможного сопротивления P_1 увеличивается и при $r_3 = \infty$ достигает наибольшего значения, равного

$$P_1 = \frac{3}{4}(\sigma_{e_1} + T_1);$$

б) с увеличением толщины стенки свыше одного калибра повышение предела возможного сопротивления по наибольшей деформации происходит медленно.

Все сказанное выше в равной мере относится и к пределу возможного сопротивления по радиальной деформации.

На практике наибольшее значение T_1 допускается не более $^3/_4\,\sigma_{e_1}$.

Наружный радиус скрепленного ствола можно определить и из отношения, которое возможно получить, решая уравнения (36) и (38).

Для случая расчета по тангенциальной деформации будем иметь:

$$\frac{r_3}{r_1} = \sqrt{\frac{3(\sigma_{e_1} + T_1) + 2P_1}{3(\sigma_{e_1} + T_1) - 4P_1}}; \tag{39}$$

для расчета по радиальной деформации:

$$\frac{r_3}{r_1} = \sqrt{\frac{3(\sigma_{e_1} + T_1) - 2P_1}{3(\sigma_{e_1} + T_1) - 4P_1}}. \tag{40}$$

10. Диаграмма напряжений в стенке скрепленного ствола

Для более полного представления о преимуществе скрепленных стволов рассмотрим, как распределяются давления и напряжения в двухслойном скрепленном стволе, подвергнутом изнутри давлению $P_1 = 4\,000$ *кг/см²* при произведенном давлении $P'_2 = 750$ *кг/см²*.

Допустим, что ствол имеет следующие радиусы: $r_1 = 40$ *мм*; $r_2 = 80$ *мм* и $r_3 = 120$ *мм*.

Дополнительное давление между слоями на основании уравнения (35) определится из выражения

$$P''_2 = P_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot \frac{r_3^2 - r_2^2}{r_3^2 - r_1^2} = 4000 \frac{16}{64} \cdot \frac{144-64}{144-16} = 625 \text{ кг/см}^2;$$

следовательно,

$$P_2 = P'_2 + P''_2 = 750 + 625 = 1\,375 \text{ кг/см}^2.$$

На основании уравнений системы (17) имеем следующие выражения для определения напряжений в стенке рассматриваемого ствола:

а) Для определения приведенных тангенциальных напряжений $E\varepsilon'_к$, произведенных скреплением, в стенке внутренней трубы с радиусами r_1 и r_2, для которой P'_2 — наружное давление, имеем:

$$E\varepsilon'_к = -\frac{2}{3} P'_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{r^2 + 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2},$$

где r может иметь значения от r_1 до r_2.

б) Для тех же напряжений в стенке кожуха с радиусами r_2 и r_3, для которого P_2 является давлением внутренним:

$$E\varepsilon'_к = \frac{2}{3} P'_1 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{2r_3^2 + r^2}{r_3^2 - r_2^2},$$

где r может иметь значение от r_2 до r_3.

в) Для определения приведенных тангенциальных дополнительных напряжений в стенке трубы будем иметь:

$$E\varepsilon''_к = \frac{2}{3} P_1 \frac{r_1^2}{r^2} \cdot \frac{2r_2^2 + r^2}{r_2^2 - r_1^2} - \frac{2}{3} P''_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{r^2 + 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

г) Для тех же напряжений в стенках кожуха (дополнительное давление на наружной поверхности у кожуха равно нулю):

$$E\varepsilon''_к = \frac{2}{3} P''_2 \frac{r_2^2}{r^2} \cdot \frac{2r_3^2 + r^2}{r_3^2 - r_2^2}.$$

д) Действительные приведенные тангенциальные напряжения найдутся как алгебраическая сумма, а именно:

$$E\varepsilon_к = E\varepsilon'_к + E\varepsilon''_к.$$

Аналогично этим формулам можно составить выражения и для определения приведенных радиальных напряжений.

Ограничимся здесь лишь построением диаграммы указанных выше напряжений, ибо она достаточно полно характеризует смысл и сущность скрепления ствола.

Все расчеты по вышеприведенным формулам сведены в таблицу 58.

Таблица 58

Труба					Кожух				
r в *см*	r^2 в *см*^{2}	$E\varepsilon_к'$ в *кг/см*^{2}	$E\varepsilon_к''$ в *кг/см*^{2}	$E\varepsilon_к$ в *кг/см*^{2}	r в *см*	r^2 в *см*^{2}	$E\varepsilon_к'$ в *кг/см*^{2}	$E\varepsilon_к''$ в *кг/см*^{2}	$E\varepsilon_к$ в *кг/см*^{2}
4	16	—2 000	6 334	4 334					
5	25	—1 520	4 174	2 654					
6	36	—1 140	2 950	1 810					
7	49	—1 098	2 282	1 184					
8	64	—1 000	1 833	833	8	64	2 200	1 830	4 030
					9	81	1 820	1 520	3 340
					10	100	1 552	1 293	2 845
					11	121	1 352	1 130	2 482
					12	144	1 200	1 000	2 200

Для большей наглядности полученные величины показаны графически на рис. 164.

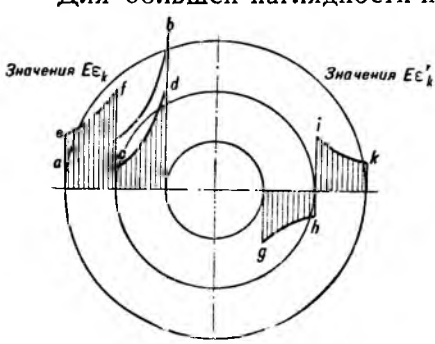


Рис. 164. Диаграмма напряжений в скрепленном стволе

На графике кривая ab показывает, какие имели бы напряжения отдельные слои стенки, при условии, что ствол изготовлен нескрепленным, но имеет радиусы $r_1 = 40$ *мм* и $r_3 = 120$ *мм* при действии того же давления в канале ствола $P_1 = 4\,000$ *кг/см*^{2}.

В скрепленном стволе наружные слои напряжены больше, чем в нескрепленном стволе, а внутренние — значительно меньше. Этим обстоятельством и достигается повышение прочного сопротивления ствола скреплением.

11. Предел прочного сопротивления скрепленного ствола по наибольшей деформации в зависимости от пределов упругости металла слоев

Рассмотрим поперечное сечение двухслойного скрепленного ствола, имеющего радиусы r_1, r_2 и r_3 (рис. 164). Во время выстрела, когда в канале ствола действует давление P_1, к произведенному давлению прибавится дополнительное. Сумму этих давлений P_2 называют давлением действительным или равнодействующим. В данном случае каждый слой можно рассматривать как простую трубу, подвергнутую внутреннему и наружному давлению, за исключением кожуха, для которого наружное давление равно атмосферному и которое принимаем равным нулю.

Рассмотрим случай, когда в трубе и кожухе, на их внутренних поверхностях, тангенциальная деформация является наибольшей.

Пользуясь уравнением системы (17), напишем выражение приведенных тангенциальных напряжений на внутренней поверхности трубы и кожуха для рассматриваемого ствола:

для внутренней поверхности трубы

$$E\varepsilon_{к_1} = \frac{2}{3} P_1 \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} - P_2 \frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}; \qquad (а)$$

для внутренней поверхности кожуха

$$E\varepsilon_{к_2} = \frac{2}{3} P_2 \frac{2r_3^2 + r_2^2}{r_3^2 - r_1^2}. \qquad (б)$$

Так как труба и кожух должны только упруго сопротивляться разрыву, то согласно принятой гипотезе максимальных деформаций необходимо, чтобы

$$E\varepsilon_{к_1} = \sigma_{e_1},$$

$$E\varepsilon_{к_2} = \sigma_{e_2},$$

где σ_{e_1} и σ_{e_2} — пределы упругости металла трубы и кожуха.

Имея это в виду, решим уравнение (а) относительно P_1, а уравнение (б) относительно P_2; тогда:

$$P_1 = \frac{3}{2} \sigma_{e_1} \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2} + P_2 \frac{3r_2^2}{2r_2^2 + r_1^2};$$

$$P_2 = \frac{3}{2} \sigma_{e_2} \frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3^2 + r_2^2}.$$

Подставляя значение P_2 в выражение для P_1, получим:

$$P_1 = \frac{3}{2} \sigma_{e_1} \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2} + \frac{3}{2} \sigma_{e_2} \frac{3r_2^2}{2r_2^2 + r_1^2} \cdot \frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3^2 + r_2^2}. \qquad (41)$$

Уравнение (41) выражает предел упругого сопротивления скрепленного ствола по тангенциальной деформации. Пользоваться этим уравнением надлежит, когда $P_1 < {}^3/_4 \sigma_{e_1}$.

На практике часто встречается, когда $P_1 > {}^3/_4 \sigma_{e_1}$. В этом случае первый слой (трубу) рассчитывают по радиальной деформации (как наибольшей), а кожух — по тангенциальной.

Для того чтобы получить выражение прочного сопротивления скрепленного ствола, напишем для этого случая уравнение абсолютного значения приведенного радиального напряжения на внутренней поверхности трубы (формулы 16):

$$|E\varepsilon_{r_1}| = \frac{2}{3}P_1\frac{2r_2^2 - r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{2}{3}P_2\frac{r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Так как на внутренней поверхности канала ствола во время выстрела не должно получаться остаточных деформаций, то для предельного случая необходимо, чтобы $|E\varepsilon_{r_1}| = \sigma_{e_1}$. Имея это в виду и решая последнее уравнение относительно P_1, получим:

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_{e_1}\frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 - r_1^2} + P_2\frac{r_2^2}{2r_2^2 - r_1^2}.$$

Подставляя сюда значение P_2 из выражения, которым пользовались при выводе предела прочного сопротивления по тангенциальной деформации, получим:

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_{e_1}\frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 - r_1^2} + \frac{3}{2}\sigma_{e_2}\frac{r_2^2}{2r_2^2 - r_1^2}\cdot\frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3^2 + r_2^2}. \qquad (42)$$

Для краткости письма введем следующие обозначения:

$$y_i = \frac{3r_i^2 + 1}{2r_{i+1}^2 + r_i^2} \quad \text{и} \quad z_i = \frac{r_i^2 + 1}{2r_{i+1}^2 - r_i^2}.$$

Следовательно,

$$\frac{r_{i+1}^2 - r_i^2}{2r_{i+1}^2 + r_i^2} = y_i - 1 \quad \text{и} \quad \frac{r_{i+1}^2 - r_i^2}{2r_{i+1}^2 - r_i^2} = 1 - z_i.$$

Тогда уравнения (41) и (42) могут быть переписаны в следующем виде:

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_{e_1}(y_1 - 1) + \frac{3}{2}\sigma_{e_2}y_1(y_2 - 1) \qquad (41a)$$

и

$$P_1 = \frac{3}{2}\sigma_{e_1}(1 - z_1) + \frac{3}{2}\sigma_{e_2}z_1(y_2 - 1). \qquad (42a)$$

Приведенные уравнения применяются при проектировании орудийных стволов в следующих случаях:

1. Если известны радиусы трубы и кожуха и пределы упругости их металла. Тогда в зависимости от того, какая деформация (тангенциальная или радиальная) на внутренней поверхности первого слоя больше, можно определить предел упругого сопротивления ствола.

2. Если же известны P_1 и радиусы, то, пользуясь этими уравнениями, можно определить пределы упругости металла слоев. При их определении обычно задаются пределом упругости металла первого слоя σ_{e_1} и определяют σ_{e_2}.

Рекомендуется предел упругости первого слоя брать больше предела упругости металла кожуха, так как труба во время выстрела всегда находится в более тяжелых условиях работы, чем кожух. Поэтому целесообразно на изготовление трубы употреблять металл с более высокими механическими качествами.

Предварительный выбор σ_{e_1} при заданном значении P_1 имеет то преимущество, что позволяет сразу же установить, какая деформация является наибольшей на внутренней поверхности трубы — радиальная или тангенциальная. Это дает возможность правильно выбрать расчетные формулы для проектирования ствола.

Как показывают исследования русского артиллериста Гадолина, выгодно выбирать радиусы из соотношения

$$\frac{r_2}{r_1} = \frac{r_3}{r_2}.$$

Однако на практике от этих соотношений приходится отступать и выбирать радиусы, исходя из конструктивных соображений.

12. Натяжения, с которыми кожух должен надеваться на трубу

При скреплении стволов для создания произведенного давления между трубой и кожухом последний надевается на трубу с натяжением, для чего внутренний диаметр кожуха изготовляется меньшим, чем наружный диаметр трубы (рис. 165). Разность между этими диаметрами называется абсолютным натяжением, которое обозначим через q_2.

Если обозначим через $d_{1,н} = 2r_{1,н}$ наружный диаметр трубы *1* и через $d_2 = 2r_2$ — внутренний диаметр кожуха *2* до их скрепления, то натяжение q_2 между ними выразится следующей зависимостью:

$$q_2 = d_{1,н} - d_2 = 2r_{1,н} - 2r_2. \qquad (43)$$

После надевания кожуха на трубу (см. рис. 165) соприкосновение их произойдет по цилиндрической поверхности, радиус которой обозначим через ρ_2. Очевидно, что

$$r_{1,н} > \rho_2 > r_2.$$

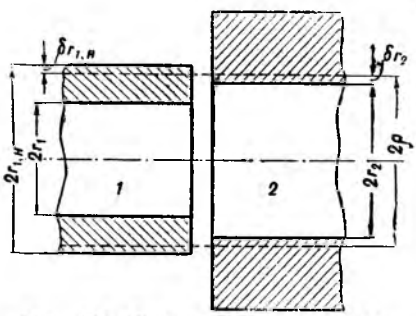


Рис. 165. Схема трубы и кожуха до скрепления

Отношение $\gamma_2 = \frac{q_2}{2\rho_2}$ называется относительным натяжением.

Относительное натяжение представляет весьма малую величину, и максимальное ее значение может быть определено из следующих соображений. При скреплении кожух нагревается до некоторой температуры t°. Для того чтобы скрепляющий слой можно было удобно надеть на скрепляемый слой, между ними должен существовать некоторый зазор, относительная величина f которого принимается несколько меньшей, чем относительное натяжение, и берется равной $f = k\gamma$, где $k \leqslant 1$. Отсюда следует, что относительное максимальное расширение при нагреве надеваемого слоя γ_{max} может быть определено из условия

$$\gamma_{max} = \frac{\alpha t}{1 + k}.$$

Практически допустимая температура при скреплении колеблется в пределах от 400° до 450° С.

Принимая $t = 400°$ С, $\alpha = 0{,}000012$ и полагая $k = 0{,}75$, получим, что

$$\gamma_{max} = \frac{0{,}000012 \cdot 400}{1 + 0{,}75} = 0{,}0025.$$

На практике относительное натяжение более 0,002 не делается, потому что для производства скрепления скрепляющий слой пришлось бы нагревать до более высокой температуры, но это недопустимо, так как может привести к изменению механических качеств металла.

Обозначая через $\delta r_{1,н}$ и δr_2 изменения радиусов после скрепления, можем написать:

$$\rho_2 = r_{1,н} - \delta r_{1,н} = r_2 + \delta r_2,$$

откуда

$$r_{1,н} - r_2 = \delta r_2 + \delta r_{1,н}.$$

Тогда выражение для натяжения q_2 можно написать в следующем виде:

$$q_2 = 2(\delta r_2 + \delta r_{1,н}).$$

Обозначим теперь через $\varepsilon'_{к_1,н}$ и $\varepsilon'_{к_2}$ относительные тангенциальные деформации, произведенные скреплением на наружной поверхности трубы и внутренней поверхности кожуха.

Так как

$$\varepsilon'_{к_1,н} = \frac{\delta r_{1,н}}{r_{1,н}} \text{ и } \varepsilon'_{к_2} = \frac{\delta r_2}{r_2},$$

то

$$q_2 = 2(r_2\varepsilon'_{к_2} - r_{1,н}\varepsilon'_{к_1,н}) = 2r_2\left(\varepsilon'_{к_2} - \frac{r_{1,н}}{r_2}\varepsilon'_{к_1,н}\right).$$

Полагая $\frac{r_{1,н}}{r_2} = 1$, получим:

$$q_2 = 2r_2(\varepsilon'_{к_2} - \varepsilon'_{к_1,н}). \tag{44}$$

Пользуясь уравнениями системы (17), напишем значения этих относительных деформаций в зависимости от P'_2. Получим:

$$\varepsilon'_{к_1,н} = -\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{E}P'_2\frac{r_2^2 + 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2};$$

$$\varepsilon'_{к_2} = \frac{2}{3}\cdot\frac{1}{E}P'_2\frac{r_3^2 + r_2^2}{r_3^2 - r_2^2}.$$

Имея в виду уравнение (44), можем написать:

$$Eq_2 = 2r_2\left(\frac{2}{3}P'_2\frac{2r_3^2 + r_2^2}{r_3^2 - r_2^2} + \frac{2}{3}P'_2\frac{r_2^2 + 2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2}\right).$$

После соответствующих алгебраических преобразований будем иметь:

$$q_2 = P_2'\frac{2r_2}{E}\cdot\frac{2r_2^2(r_3^2 - r_1^2)}{(r_3^2 - r_2^2)(r_2^2 - r_1^2)}. \tag{45}$$

Так как $\frac{q_2}{2r_2} = \gamma_2$, то

$$\gamma_2 = P_2'\frac{1}{E}\cdot\frac{2r_2^2(r_3^2 - r_1^2)}{(r_3^2 - r_2^2)(r_2^2 - r_1^2)}. \tag{46}$$

Формула (46) служит для определения относительного натяжения между трубой и кожухом, и, как уже было указано,

$$\gamma_2 \leqslant 0{,}002.$$

При выводе предела возможного сопротивления скрепленного ствола нами было получено

$$T_1 = P'_2\frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2},$$

откуда

$$P'_2 = T_1\frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2}. \tag{47}$$

Внося это выражение P_2' в уравнение (46), получим:

$$E\gamma_2 = T_1 \frac{r_3^2 - r_1^2}{r_3^2 - r_2^2}. \qquad (48)$$

Последнее выражение дает зависимость тангенциального сжатия канала ствола в зависимости от натяжения и размеров слоев в двухслойном скрепленном стволе.

Как уже было указано, значение относительного натяжения не должно превосходить 0,002, а его абсолютная величина должна быть равна нескольким десятым миллиметра для малых и средних калибров и не превосходить 1 *мм* для орудий крупных калибров. Поэтому для получения надлежащих величин натяжений механическая обработка поверхностей прилегания слоев должна быть очень точной и тщательной. После чистовой обработки резцом указанные поверхности обычно подвергаются шлифовке.

Несмотря на всю тщательность обработки, величины натяжений на практике нередко отклоняются от теоретических значений. В таких случаях следует произвести исследования деформаций и напряжений, вызванных скреплением в наиболее ответственных сечениях ствола. При этом исследовании необходимо обратить внимание, чтобы тангенциальное напряжение сжатия канала ствола T_1 не превосходило допускаемой величины и чтобы требуемое упругое сопротивление ствола было полностью обеспечено.

На обработку поверхностей прилегания назначаются определенные допуски, а это также приводит к тому, что натяжения, вычисленные теоретически, будут отличаться от практических. Рекомендуется поэтому всегда производить расчет прочности ствола на минимальное и максимальное значение практических натяжений с учетом назначаемых допусков.

13. Применение полученных зависимостей при проектировании скрепленных стволов

Имея кривую давления в канале ствола, все ординаты ее увеличивают, умножая соответствующие им давления p на выбранный коэфициент запаса прочности η, и получают так называемую кривую желаемого прочного сопротивления *abc* (рис. 166). Ординаты этой кривой представляют собой расчетные давления для соответствующих сечений ствола и равны $P_1 = \eta p$, где p — давление пороховых газов в канале ствола, η — коэфициент запаса прочности.

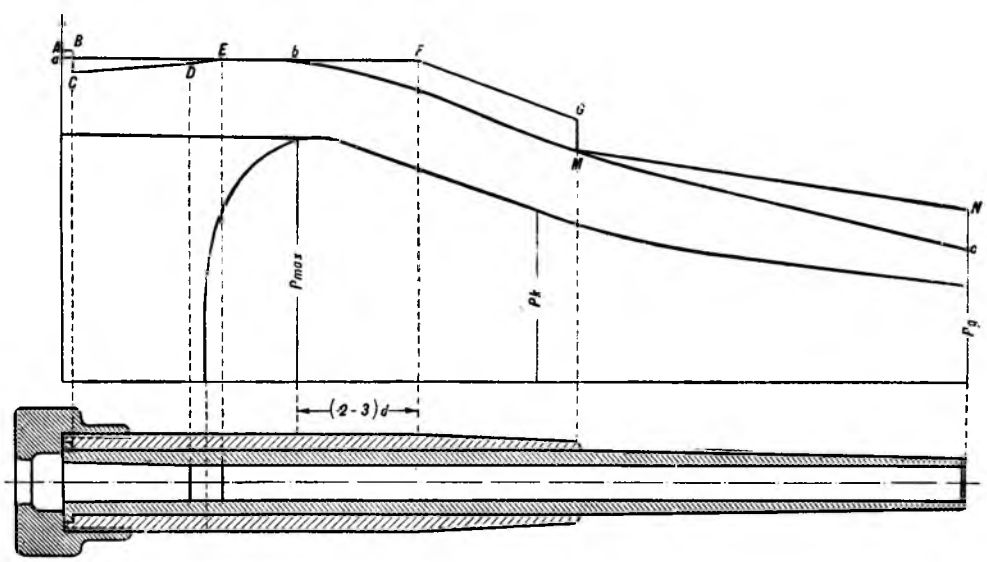


Рис. 166. Схема скрепленного ствола и кривая желаемого прочного сопротивления

Дальнейший расчет можно вести в различной последовательности, и поэтому излагаемая здесь схема расчета не является единственной и может быть изменена в зависимости от выбранных конструктором основных исходных данных при составлении проекта ствола.

Расчет обычно начинается по месту максимального давления. Он заключается в выборе радиусов трубы и кожуха, в установлении пределов упругости материала их, в определении натяжений и других данных, обеспечивающих и характеризующих упругое сопротивление ствола.

Задавшись вначале пределом упругости металла первого слоя σ_{e_1}, устанавливают, по какой деформации надлежит вести расчет: по тангенциальной ($P_1 < {}^3/_4\ \sigma_{e_1}$) или радиальной ($P_1 > {}^3/_4\ \sigma_{e_1}$). При выборе металла руководствуются соответствующими стандартами на орудийную сталь. Чаще всего для первого слоя скрепленных стволов современных орудий предел упругости σ_{e_1} выбирается в пределах от 50 до 60 *кг/мм*^{2}, если нет каких-либо специфических условий, усложняющих служебную работу ствола и требующих повышенных качеств материала трубы.

Установив радиусы r_1, r_2 и r_3 и зная σ_{e_1}, из уравнения для предела упругого сопротивления, определяют σ_{e_2}. Если предел упругости металла кожуха получается больше, чем предел упругости трубы, то расчет необходимо произвести вновь при увеличенном значении σ_{e_1}.

После этого, пользуясь уравнением для предела возможного сопротивления, определяют тангенциальное напряжение сжатия на внутренней поверхности канала T_1, которое должно удовлетворять условию

$$T_1 \leqslant {}^3/_4\ \sigma_{e_1}.$$

Действительное или равнодействующее давление найдется из условий прочного сопротивления кожуха по формуле, которая была получена при выводе общего выражения для предела упругого сопротивления, а именно:

$$P_2 = \frac{3}{2}\sigma_{e_2}\frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3^2 + r_2^2}. \tag{49}$$

Дополнительное давление найдется из формулы

$$P_2'' = P_1\frac{r_1^2}{r_2^2}\cdot\frac{r_3^2 - r_2^2}{r_3^2 - r_1^2}.$$

Давление, произведенное скреплением, найдется как разность между равнодействующим и дополнительным.

После определения произведенного давления следует провести поверку правильности проделанных расчетов по формуле

$$T_1 = P_2'\frac{2r_2^2}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Вычисленное по этой формуле T_1 должно быть равно полученному из формулы для предела возможного сопротивления ствола.

По полученному значению произведенного давления определяют относительное и абсолютное натяжения между кожухом и трубой.

Наружное очертание ствола в казенной части делают цилиндрическим, с наружным радиусом, равным радиусу, выбранному по месту максимального давления, и продолжают его по направлению к дулу от места p_{max} на 2—3 калибра.

После цилиндрической части наружное очертание ствола сводят к дулу на конус, как это показано на чертеже.

Кожух заканчивается там, где прочность только одной трубы равна желаемому прочному сопротивлению.

В отношении натяжений следует отметить, что их величина бывает различной на разных участках ствола. От величины их зависит величина T_1 (тангенциального напряжения сжатия канала ствола). При резком переходе от одной величины натяжения к другой резко меняется T_1, что нежелательно.

Как на пример неудачной конструкции ствола в этом отношении следует указать на ствол 122-*мм* гаубицы Круппа обр. 1909 г. (рис. 167). В этой конструкции ствола, в целях закрепления захватов, на его дульную часть с большим натяжением надевалось кольцо *а*; в результате на внутренней поверхности канала нескрепленной части ствола создавалось тангенциальное напряжение сжатия T_1.

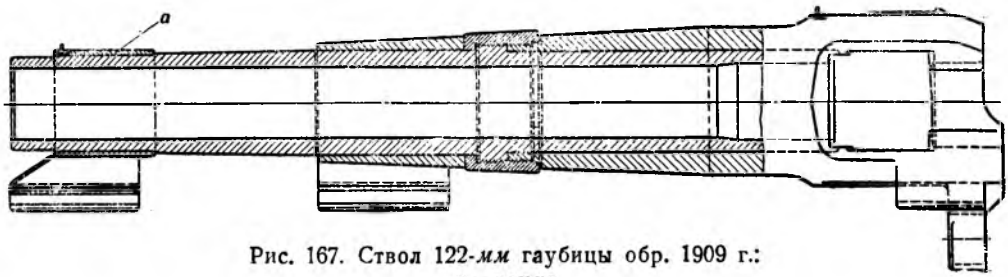


Рис. 167. Ствол 122-*мм* гаубицы обр. 1909 г.:
а — кольцо

Стрельба из этого ствола показала, что при нормальных условиях заряжания имели место частые разрывы его около кольца. Когда стали надевать кольцо без натяжения, явление частых разрывов прекратилось.

Смысл этого заключается в следующем. Снаряд во время движения по каналу ствола своим пояском движет впереди себя тонкий слой металла трубы, прилегающий к внутренней поверхности канала. Если во время этого движения в каком-либо сечении труба резко пережата, то, очевидно, должно получиться местное выпучивание металла, который, как бы протягиваясь, движется впереди пояска. Ясно, что подобного рода выпучивание приводит к нарушению, хотя бы и незначительному, установившегося движения снаряда и создает условия для получения анормальных давлений в канале ствола, превосходящих предел его упругого сопротивления. Это обстоятельство учтено в конструкции ствола нашей 76,2-*мм* пушки обр. 1902 г. (рис. 168), где муфта закрепляется на трубе во избежание соскальзывания без натяжения специальным упорным кольцом *в*.

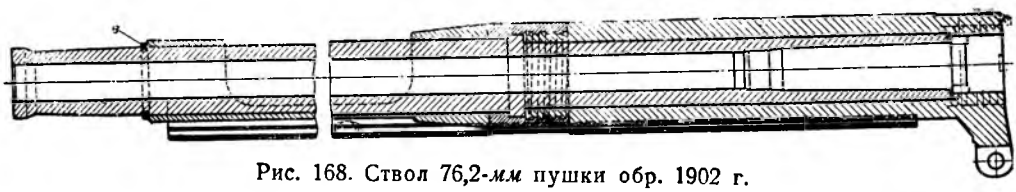


Рис. 168. Ствол 76,2-*мм* пушки обр. 1902 г.

После расчета всех сечений, где имеет место изменение размеров радиусов, получим ломаную *ABCDEFGMN* (рис. 166) — кривую действительного прочного сопротивления ствола.

Приведенная выше схема расчета имеет тот недостаток, что не дает представления о напряжении металла в отдельных слоях.

Необходимо стремиться спроектировать ствол так, чтобы в двухслойном стволе напряжения в трубе не превосходили $^2/_3\ \sigma_{e_1}$, а в кожухе $^3/_4\ \sigma_{e_2}$. При этих условиях выражение для предела упругого сопротивления может быть написано в следующем виде:

$$p_1 = \frac{3}{2}\left(\frac{2}{3}\sigma_{e_1}\right)\frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2} + \frac{3}{2}\left(\frac{3}{4}\sigma_{e_2}\right)\frac{3r_2^2}{2r_2^2 + r_1^2} \cdot \frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3^2 + r_2^2}.$$

При этом p_1 должно равняться давлению пороховых газов в данном сечении канала ствола.

Общий коэфициент запаса прочности, который мы раньше принимали в расчет, при пользовании этой формулой упругого сопротивления ствола оказывается распределенным между трубой и кожухом. При пользовании последней формулой соответственно изменяются и некоторые расчетные формулы, а именно:

а) для равнодействующего давления между трубой и кожухом будем иметь:

$$p_2 = \frac{3}{2}\left(\frac{3}{4}\sigma_{e_2}\right)\frac{r_3^2 - r_2^2}{2r_3^2 + r_2^2};$$

б) дополнительное давление вычисляют по той же формуле:

$$p_2'' = p_1 \frac{r_1^2}{r_2^2} \cdot \frac{r_3^2 - r_2^2}{r_3^2 - r_1^2},$$

где p_1 — давление пороховых газов в канале ствола в рассчитываемом сечении (без учета коэфициента запаса прочности);

в) произведенное давление P_2' определится из разности

$$P_2' = p_2 - p_2''.$$

При проведении расчета по только что изложенной схеме можно проверить степень напряженности металла отдельных слоев скрепленного ствола следующим образом. После того как определены натяжения и соответствующие им произведенные давления по формулам системы (17), определяют $E\varepsilon'_{к_1}$ и $E\varepsilon'_{к_2}$ — приведенные тангенциальные напряжения на внутренних поверхностях трубы и кожуха, произведенные скреплением. Зная давление в канале ствола в рассматриваемом сечении (коэфициент запаса прочности в расчет не принимается), по известным формулам определяют дополнительное давление и приведенные дополнительные напряжения $E\varepsilon''_{к_1}$ и $E\varepsilon''_{к_2}$ на соответствующих поверхностях трубы и кожуха.

Сложив соответствующие значения $E\varepsilon'_{к_1}$, $E\varepsilon''_{к_1}$, $E\varepsilon'_{к_2}$, $E\varepsilon''_{к_2}$, получим равнодействующие значения $E\varepsilon_{к_1}$ и $E\varepsilon_{к_2}$ на внутренних поверхностях трубы и кожуха. Составив отношения $\frac{E\varepsilon_{к_1}}{\sigma_{e_1}}$ и $\frac{E\varepsilon_{к_2}}{\sigma_{e_2}}$, будем иметь представление о степени напряженности металла в отдельных слоях. Если эти отношения равны единице или близки к ней, то это указывает, что при выстреле в данном слое могут получиться остаточные деформации. В этом случае ствол необходимо перепроектировать.

Для того чтобы спроектировать ствол с точки зрения прочности наиболее рационально, необходимо стремиться, чтобы

$$\frac{E\varepsilon_{к_1}}{\sigma_{e_1}} \leqslant 0{,}66 \text{ и } \frac{E\varepsilon_{к_2}}{\sigma_{e_2}} \leqslant 0{,}75.$$

14. Устройство ствола со свободным лейнером

Применяются два вида лейнеров: 1) лейнеры, вставляемые с незначительным натяжением, и 2) лейнеры, вставляемые с радиальным зазором. Первый вид лейнеров называется скрепленным, а второй — свободным.

Обновление канала ствола со скрепленным лейнером требует много времени и полного оборудования орудийного завода.

Быстрое по времени восстановление изношенного ствола может быть произведено посредством свободного лейнера, вставляемого в ствол с зазором. В настоящее время постановка подобного лейнера предусматривается сразу при проектировании и изготовлении нового ствола.

Идею применения свободного лейнера обычно приписывают английской артиллерии и его считают изобретением последних лет. Справедливость требует указать, что на советском заводе тов. Колокольцев разработал разборные стволы, состоявшие из трех частей: казенной, дульной и внутренней трубы. Первые две части стягивались гайкой, и затем в собранную оболочку вдвигалась труба способами точно такими же, которые применяются в настоящее время для вставки свободных лейнеров. Орудия с разборными стволами (8-дм. пушки и 9-дм. мортиры) участвовали в Русско-турецкой войне 1877—1878 гг. Далее из „Трудов особой комиссии из представителей морского и сухопутного ведомств для обсуждения вопросов, касающихся орудийных стволов", работавшей в 1884—1885 гг., видно, что еще тогда в России стволы 6-дм. и 9-дм. морских орудий изготовлялись с трубой, вставляемой в канал с зазором, с целью обновления стволов непосредственно на корабле. Комиссия такое устройство стволов не утвердила, и эта идея осталась законсервированной на долгие годы. Общее внимание было привлечено к этой идее только во второй половине империалистической войны 1914—1918 гг.

Смена свободного лейнера должна быть возможно более простой операцией, не требующей специального оборудования и осуществимой в условиях войсковой части или, во всяком случае, в подвижных артиллерийских мастерских. Удовлетворение этих требований по отношению к орудиям зенитной артиллерии во Франции, Италии и в других странах считают обязательным. Исходя из этого требуется, чтобы лейнеры для стволов одного и того же образца зенитной артиллерии были по возможности взаимозаменяемы.

Существует два вида конструкций орудийных стволов с трубой, вставляемой с зазором: ствол со свободным лейнером и со свободной трубой. Описание их было дано выше.

С точки зрения производства свободная труба имеет некоторые преимущества перед свободным лейнером.

Труба, имеющая более толстые стенки, позволяет изготовлять ее из металла более низкого качества, чем лейнер, и кроме того, она менее подвержена прогибам и искривлениям при обработке. Поверхность, подлежащая обработке под зазор, у свободной трубы значительно меньше, чем у лейнера, у которого она равна всей его наружной поверхности. Это обстоятельство облегчает и ускоряет производство свободных труб по сравнению со свободным лейнером. Однако, несмотря на эти производственные преимущества, стволы со свободной трубой не получили широкого распространения, так как свободная труба, отличаясь от лейнера большим весом, затрудняет транспортировку запасных труб в артиллерийских частях и парках.

Вставка лейнера в оболочку может производиться как с дула, так и с казенной части. При этом должны быть приняты меры для закрепления лейнера от продвигания в направлении оси и от поворачивания во время выстрела. На рис. 169 показан ствол со свободным лейнером, вставляемым с казны.

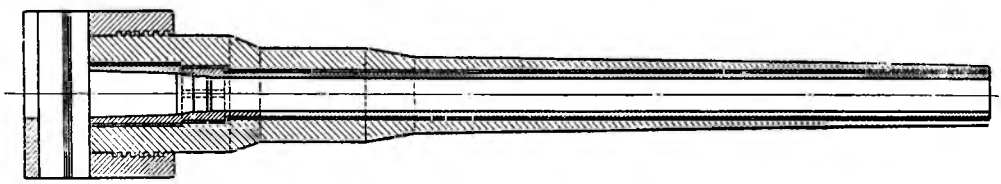


Рис. 169. Ствол со свободным лейнером

В том случае когда лейнер вставляется с казны, от продвижения в направлении оси он удерживается уступом, который делается на наружной поверхности лейнера, как показано на рис. 169. Этот уступ располагается над каморой до начала нарезов. Уступов делают иногда несколько

с целью уменьшения наружного диаметра лейнера в дульной части. Уступ для упора должен быть один. Поэтому у остальных уступов после вкладывания лейнера должны оставаться небольшие, так называемые температурные, зазоры.

Для закрепления лейнера от поворота в дульной его части делают шпонки или шпильки. При съемных казенниках вставку лейнера удобно производить с казны, и в этом отношении подобные казенники имеют несомненные преимущества.

Свободная труба в той части, которая находится под кожухом, работает на сопротивление разрыву так же, как свободный лейнер. В дульной же части свободная труба работает как простой, нескрепленный ствол. Исходя из этого, все то, что в дальнейшем будет сказано относительно прочности ствола со свободным лейнером, в одинаковой мере будет относиться и к стволу со свободной трубой, для той его части, где между кожухом и трубой существует зазор.

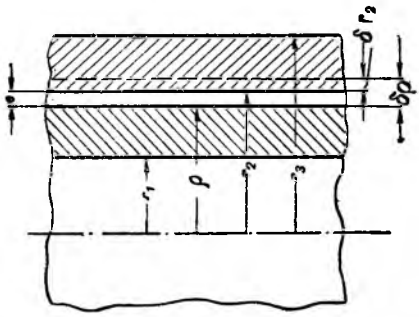


Рис. 170. Стенка ствола со свободным лейнером

Работа при сопротивлении продольному разрыву у стволов со свободным лейнером происходит следующим образом. При развитии давления в канале ствола лейнер расширяется до тех пор, пока не выберется зазор между наружной поверхностью лейнера и внутренней поверхностью оболочки, после чего дальнейшее расширение лейнера, а вместе с этим и сопротивление разрыву, происходит вместе с оболочкой.

Обозначим: внутренний радиус лейнера через r_1, наружный радиус — через ρ, а диаметральный зазор — через $2e$. Отношение $\gamma_\rho = \frac{2e}{2\rho}$ назовем относительным зазором.

Если предел упругости металла лейнера равен σ_{e_0}, то прочное сопротивление одного лейнера $P_л$ при расчете по тангенциальной деформации определится из выражения

$$P_л = \frac{3}{2}\sigma_{e_0}\frac{\rho^2 - r_1^2}{2\rho^2 + r_1^2}. \qquad (50)$$

Зная $P_л$, определим, пользуясь уравнениями системы (17), приведенное тангенциальное напряжение на наружной поверхности лейнера:

$$E\varepsilon_{к_1 н} = P_л \frac{2r_1^2}{\rho^2 - r_1^2}. \qquad (51)$$

Исключая из уравнения (51) значение $P_л$, получим:

$$E\varepsilon_{к_1 н} = \sigma_{e_0}\frac{3r_1^2}{2\rho^2 + r_1^2}. \qquad (52)$$

Для того чтобы при действии в канале давления $P_1 > P_л$ металл лейнера не перешел за предел упругости, необходимо, чтобы прилегание наружной поверхности лейнера к внутренней поверхности оболочки произошло раньше, чем в канале разовьется давление $P_л$. Исходя из этих соображений, выбирается величина зазора при соблюдении следующего условия:

$$E\gamma_\rho \leqslant E\varepsilon_{к_1 н}.$$

Если же $E\gamma_\rho > E\varepsilon_{к_1 н}$, то лейнер получит остаточные деформации.

На рис. 170 представлен участок стенки ствола со свободным лейнером.

Обозначим через r_2 и r_3 внутренний и наружный радиусы оболочки. При действии давления P_1 в канале ствола наружный радиус лейнера получит удлинение $\delta\rho$, а внутренний радиус оболочки — δr_2.

Из чертежа видно, что

$$\delta\rho - \delta r_2 = e, \tag{53}$$

где e — величина радиального зазора.

Обозначим относительные тангенциальные деформации: на наружной поверхности лейнера — через $\varepsilon''_{кр}$, на внутренней поверхности оболочки — через $\varepsilon''_{к_2}$. Тогда

$$\varepsilon''_{кр} = \frac{\delta\rho}{\rho} \quad \text{и} \quad \varepsilon''_{к_2} = \frac{\delta r_2}{r_2},$$

откуда

$$\delta\rho = \varepsilon''_{кр}\rho \quad \text{и} \quad \delta r_2 = \varepsilon''_{к_2} r_2.$$

Подставляя полученные значения $\delta\rho$ и δr_2 в выражение (53), получим:

$$\varepsilon''_{кр}\rho - \varepsilon''_{к_2} r_2 = e;$$

$$\varepsilon''_{кр} - \varepsilon''_{к_2}\frac{r_2}{\rho} = \frac{e}{\rho}.$$

Так как $\frac{e}{\rho}$ — относительный зазор, и полагая ввиду малой величины радиального зазора $\frac{r_2}{\rho} = 1$, получим, что

$$\varepsilon''_{кр} - \varepsilon''_{к_2} = \gamma_\rho. \tag{54}$$

Обозначая через P_ρ то давление, которое возникает между наружной поверхностью лейнера и внутренней поверхностью оболочки во время действия в канале ствола давления P_1, и пользуясь уравнениями системы (17), напишем значения $E\varepsilon''_{кр}$ и $E\varepsilon''_{к_2}$:

$$E\varepsilon''_{кр} = P_1\frac{2r_1^2}{\rho^2 - r_1^2} - \frac{2}{3}P_\rho\frac{\rho^2 + 2r_1^2}{\rho^2 - r_1^2};$$

$$E\varepsilon''_{к_2} = \frac{2}{3}P_\rho\frac{2r_3^2 + \rho^2}{r_3^2 - \rho^2}.$$

Умножив правую и левую части выражения (54) на E, подставив значения $E\varepsilon''_{кр}$ и $E\varepsilon''_{к_2}$ и произведя соответствующие алгебраические преобразования, получим:

$$P_1\frac{2r_1^2}{\rho^2 - r_1^2} - P_\rho\frac{2\rho^2(r_3^2 - r_1^2)}{(r_3^2 - \rho^2)(\rho^2 - r_1^2)} = E\gamma_\rho. \tag{55}$$

Для определения значения P_ρ составим выражение для приведенного тангенциального напряжения на внутренней поверхности лейнера $E\varepsilon_{к_1}$ во время действия в канале давления P_1.

Пользуясь уравнением системы (17), получим:

$$E\varepsilon_{к_1} = \frac{2}{3}P_1\frac{2\rho^2 + r_1^2}{\rho^2 - r_1^2} - P_\rho\frac{2\rho^2}{\rho^2 - r_1^2}.$$

Для того чтобы лейнер имел только упругие деформации, по рассматриваемой нами гипотезе прочности необходимо, чтобы $E\varepsilon_{к_1} = \sigma_{e_0}$. Имея это в виду и решая последнее уравнение относительно P_ρ, получим:

$$P_\rho = \frac{2}{3} P_1 \frac{2\rho^2 + r_1^2}{2\rho^2} - \sigma_{e_0} \frac{\rho^2 - r_1^2}{2\rho^2}. \tag{56}$$

Подставляя полученное значение P_ρ в формулу (55), решая относительно P_1 и произведя соответствующие алгебраические преобразования, получим уравнение для предела прочного сопротивления ствола со свободным лейнером:

$$P_1 = \frac{3}{2}\left[\sigma_{e_0} - E\gamma_\rho \frac{r_3^2 - \rho^2}{r_3^2 - r_1^2}\right] \frac{r_3^2 - r_1^2}{2r_3^2 + r_1^2}. \tag{57}$$

Рассматривая уравнение (57), заметим, что чем больше отрицательный член в правой части этого уравнения, тем больший потребуется предел упругости металла лейнера, чтобы получить то же прочное сопротивление. Исходя из этого, зазор всегда необходимо брать возможно меньше, лишь бы обеспечить свободное вкладывание и вынимание лейнера. На практике диаметральный зазор применяется в пределах 0,1 — 0,2 *мм*.

Предел упругости металла оболочки σ_{e_3} определяют из выражения

$$\sigma_{e_3} = P_\rho \frac{2r_3^2 + \rho^2}{r_3^2 - \rho^2}. \tag{58}$$

Если σ_{e_3} окажется чрезмерно большим, то оболочка делается скрепленной, состоящей из нескольких слоев, и расчет ее производится, как для скрепленных стволов.

Учитывая, что лейнер при нагреве расширяется, вследствие чего зазор выбирается еще до выстрела, можно рекомендовать P_ρ вычислять как дополнительное давление для скрепленного ствола по формуле

$$P_\rho = P_1 \frac{r_1^2}{\rho^2} \cdot \frac{r_3^2 - \rho^2}{r_3^2 - r_1^2}. \tag{59}$$

Прочность лейнера проверяется еще и на растяжение осевой силой F, которая может быть вычислена по формуле

$$F = P_{max} s \frac{Q_л}{Q_{от}} + P_{max}(s' - s) + nN \sin\alpha, \tag{60}$$

где s — поперечное сечение канала ствола с учетом нарезов;
s' — поперечное сечение дна каморы;
P_{max} — максимальное давление в канале ствола;
$Q_л$ — вес лейнера;
$Q_{от}$ — вес откатных частей;
n — число нарезов;
N — давление на боевую грань нареза;
α — угол крутизны нарезки.

Момент же, скручивающий лейнер, определяется из уравнения

$$M_к = Nn \cos\alpha \frac{d_н + d}{4}, \tag{61}$$

где $d_н$ — диаметр канала ствола по нарезам.

ГЛАВА II

УСТРОЙСТВО КАНАЛА СТВОЛА

1. Части канала ствола

По своему устройству канал ствола можно подразделить на нарезную (или ведущую) часть, камору и гнездо для затвора. Последнее в современных орудиях чаще всего делается в навинтном казеннике. Камора с нарезной частью соединяется одним или двумя соединительными конусами.

Нарезная, или ведущая, часть ствола служит для придания снаряду необходимого направления и вращательного движения при его движении по каналу ствола под действием давления пороховых газов. Существуют различные конструкции ведущей части. Наиболее распространенной конструкцией является такая, у которой на внутренней цилиндрической поверхности канала ствола сделаны нарезы, имеющие некоторый наклон. Снаряд снабжается одним или несколькими ведущими поясками, сделанными из более мягкого металла, чем стенки ствола. Наибольший диаметр пояска несколько больше диаметра канала ствола по нарезам. В начале движения снаряда по каналу поля нарезов вдавливаются в ведущие пояски, на которых образуются выступы. Выступы, двигаясь по нарезам, вращают снаряд при его движении по каналу ствола.

2. Устройство нарезов

Рассмотрим устройство нарезов в канале ствола.

Нарезка может быть постоянной или прогрессивной крутизны. Нарезка постоянной крутизны характеризуется постоянным углом наклона нареза к оси канала ствола. При прогрессивной крутизне нарез вначале имеет малый угол наклона и может быть даже равен нулю, но затем постепенно возрастает к дулу. При развертке канала ствола на плоскость нарез с постоянной крутизной (рис. 171, *а*) представится в виде прямой линии, а в случае прогрессивной — в виде кривой (рис. 171, *б*). В зависимости от характера кривой прогрессивная нарезка называется параболической, синусоидальной и т. д. В большинстве случаев кривая нареза представляет собой параболу второй степени. Иногда делают нарезку из сочетания нарезок прогрессивной и постоянной крутизны.

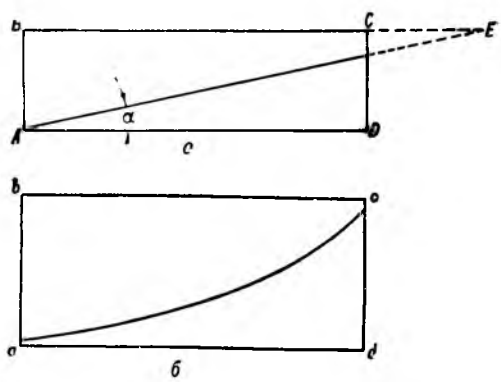


Рис. 171. Схема развертки нареза

Мерой крутизны нарезки служит величина угла наклона нареза к оси канала ствола, выраженного в градусах или радианах. На практике для характеристики крутизны нарезки часто пользуются длиной хода нарезов, выраженной в калибрах. Длиной хода нарезов называется расстояние по оси канала ствола, на котором нарез делает один оборот. При прогрессивной крутизне за меру ее принимают угол, образуемый касательной с осью канала.

На рис. 171 *ABCD* представляет развернутый на плоскость канал ствола. Как видно из чертежа, нарез делает один оборот на расстоянии *AE*, которое называют длиной хода нарезов. Так как $AB = \pi d$, где d — калибр, то длина хода нареза, выраженная в калибрах, определяется из выражения

$$\eta = \frac{\pi}{\operatorname{tg} \sigma}.$$

Очевидно, что для нарезки постоянной крутизны длина хода нареза есть величина постоянная, а для нарезки прогрессивной крутизны — переменная, причем она изменяется в зависимости от изменения угла.

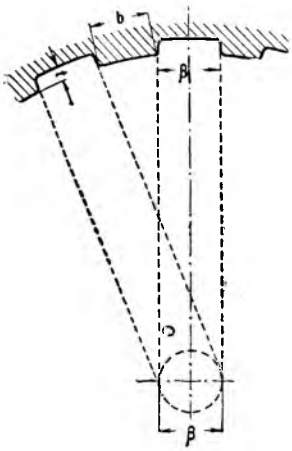


Рис. 172. Профиль нарезов

От величины угла наклона нарезки у дула зависит устойчивость и кучность продолговатых снарядов. Установление величины этого угла является задачей внешней балистики.

Профиль и число нарезов должны обеспечить легкое врезание полей нарезов в ведущий поясок снаряда и надежное ведение его по каналу ствола (рис. 172).

Чтобы обеспечить прочность выступов на пояске, ширину нареза β делают больше, чем ширину поля b, исходя примерно из следующего соотношения:

$$3b > \beta > 2b.$$

При этом должна существовать зависимость

$$\pi d = n(b + \beta),$$

где d — калибр орудия, n — число нарезов.

Ширину поля делают равной примерно 3 — 4,5 *мм*. Из этих соотношений следует, что $b + \beta = 10 \div 15$ *мм*. Число нарезов при этом можно определить из формулы

$$n = \frac{\pi d}{b + \beta}.$$

Полученное число n округляют до целого числа, кратного четырем, чтобы нарезку производить сразу четырьмя резцами. Изменившаяся при этом величина $b + \beta$ должна быть снова пересчитана.

Глубина нарезов t в значительной степени зависит от свойств материала пояска, и для медных ведущих поясков она колеблется в пределах от 0,5 до 2 *мм*. Для орудий калибром до 15 *см* глубина нарезов может быть определена по формуле

$$t = (0{,}1 \div 0{,}15)\, d.$$

При движении снаряда по каналу ствола между нарезами и выступами на снаряде возникает трение, вследствие чего происходит истирание последних. Величина этого износа зависит от давления на грань выступа, свойств материала пояска и от величины трущихся поверхностей. При мягком материале и малых трущихся поверхностях истирание может быть настолько велико, что между выступами на снаряде и гранями нарезов образуются зазоры, через которые будет происходить прорыв пороховых газов.

Последнее обстоятельство приводит не только к потере начальной скорости, но и к ухудшению кучности, а по мнению некоторых специалистов, и к увеличению разгара, преждевременно приводящего ствол в негодность.

Чтобы избежать образования таких зазоров, иногда поля и нарезы делают переменной ширины, т. е. ширина поля к дулу увеличивается, а ширина нареза уменьшается. Подобного рода клиновидные нарезы называются нарезами с возрастающим форсированием снаряда[1]. В США имеются морские орудия, у которых в дульной части ширина поля равна ширине нареза.

[1] В орудиях обр. 1867 г., состоявших на вооружении русской артиллерии и стрелявших снарядами с ведущими частями в виде свинцовых оболочек, были клиновидные нарезы.

Вопрос о постепенном увеличении полей нарезов к дулу тесно связан с вопросом о прогрессивной и постоянной нарезке. При прогрессивной нарезке перемена наклона нареза по отношению к пояску (закупорка) имеет тот же эффект, что и у клиновидных нарезов. На образцах той же американской артиллерии можно наблюдать, что при прогрессивной крутизне нарезки соотношение между шириной поля и шириной нареза сохраняется постоянным на протяжении всей длины нарезной части, а при нарезке постоянной крутизны ширина поля изменяется на 0,08 дм. на 1 000 дм.

Профиль нарезки у большинства орудий делают таким, как показано на рис. 172.

Края нарезов делаются параллельно радиусу, проведенному к середине нареза. Острые углы у дна нареза и у полей закругляются. Этим, отчасти, достигается упрочнение выступов. Кроме того, при этом в углах не задерживаются пороховые остатки и частицы металла ведущего пояска, благодаря чему канал легче вычистить.

Исследования, проведенные при изучении износа канала ствола нашей 76,2-*мм* пушки обр. 1902 г., показывают, что отсутствие надлежащей выкружки во входящем угле на стыке граней и дна нареза является одной из главных причин выколов полей. Отсутствие надлежащей выкружки приводит к концентрации напряжений в углах, а это влечет за собой образование радиальных трещин. Эти трещины и местный наклеп приводят к выкрашиванию полей нарезов.

3. Устройство камор

Устройство каморы находится в зависимости от способа заряжания. На рис. 173 показаны каморы: *а* — для заряжания унитарным патроном; *б* — для гильзового раздельного заряжания и *в* — для картузного заряжания.

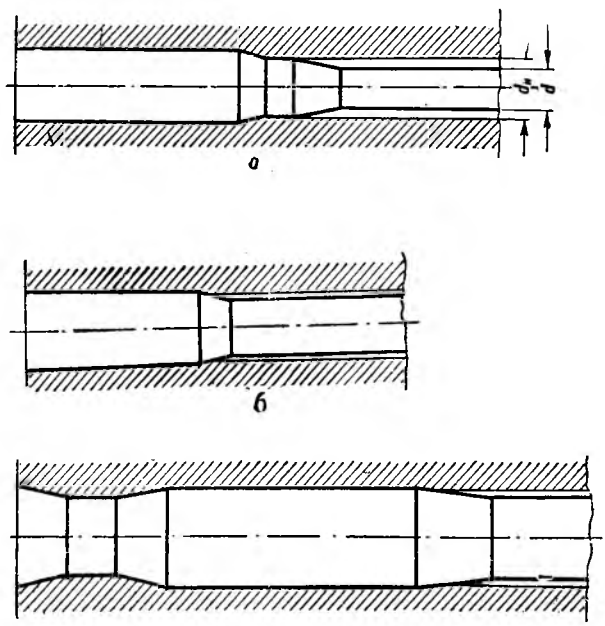


Рис. 173. Схемы камор

Передняя цилиндрическая часть каморы для заряжания унитарным патроном делается длиннее дульца гильзы так, чтобы между началом нарезов и передним срезом дульца поместился ведущий поясок снаряда, на некотором расстоянии от начала нарезов. В орудиях раздельного заряжания, во избежание разнообразия в положении снаряда при заряжании,

снаряд своим пояском должен несколько врезаться в нарезы. Поэтому в орудиях раздельного заряжания снаряд должен надежно досылаться, со значительным усилием.

Камора имеет форму конуса. Отношение среднего диаметра каморы к калибру, т. е. $\frac{d_{cp}}{d}=\psi$, называется коэфициентом бутылочности. Величина этого коэфициента колеблется в пределах от 1,05 до 1,25.

Сужение к дну каморы сделано для уменьшения давления на затвор.

ГЛАВА III

КАЗЕННИКИ И ЗАТВОРЫ

1. Казенники

Казенником называется отдельная часть ствола артиллерийского орудия, в которой устраивается затворное гнездо. Сначала казенники применялись только в орудиях крупных калибров. Но потом, в целях упрощения изготовления стволов, их стали применять и в орудиях небольших калибров. Отдельные казенники представляют еще и ту выгоду, что, в случае повреждения орудийных стволов от разрыва снаряда в канале ствола, казенники и затворы с их механизмами нередко остаются неповрежденными и могут использоваться для новых стволов.

Отдельные казенники облегчают постановку свободных лейнеров и труб и их замену непосредственно на огневой позиции. Эти обстоятельства привели к тому, что в современных конструкциях артиллерийских систем казенники делаются навинтными (съемными), причем казенники для определенного типа системы должны быть взаимозаменяемы.

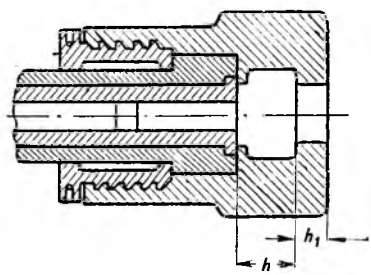


Рис. 174. Схема казенника

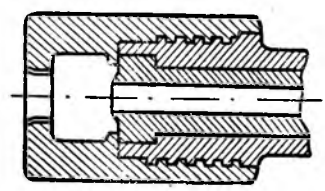


Рис. 175. Схема казенника

Все навинтные казенники могут быть разбиты на две группы. К первой группе относятся казенники, которые при сборке и разборке не вращаются относительно ствола, а ко второй — казенники, которые при сборке и разборке имеют вращательное движение относительно последнего.

На рис. 174 представлена принципиальная схема казенника первой группы. Казенник натягивается на кожух ствола вращением гайки, после чего она закрепляется специальным стопором от дальнейшего поворачивания. Преимущество подобной конструкции, особенно для тяжелых систем, заключается в том, что в случае разборки нет надобности оттягивать ствол назад для разъединения с противооткатным устройством.

На рис. 175 представлена схема казенника второй группы. В этой конструкции казенник навинчивается непосредственно на ствол и закрепляется от отвинчивания стопором. Нарезка как в той, так и в другой конструкции применяется прямоугольная или пилообразная, с наклоном витков около 4°. Длину казенника для клинового затвора принято брать следующих размеров:

для пушек . . . . . $h_1=d$; $h=1{,}85d$;
„ гаубиц . . . . . $h_1=0{,}8d$; $h=1{,}55d$.

Задняя опорная поверхность клинового отверстия делается с наклоном примерно 1 : 40.

Сила F, стремящаяся оторвать казенник при выстреле, слагается из силы инерции, равной $P_0\pi r_1^2\frac{Q_c}{Q_{от}}$, и силы, возникающей вследствие разницы между диаметром дна каморы и канала и равной $P_0\frac{\pi}{4}[(2r_0)^2-d^2]$.

Таким образом,

$$F=P_0\pi\left(r_1^2\frac{Q_c}{Q_{от}}+r_0^2-\frac{d^2}{4}\right)=P_0\pi r_1^2\left(\frac{Q_c}{Q_{от}}+\frac{r_0^2}{r_1^2}-1\right),$$

где P_0 — давление на дно канала;
r_0 — радиус дна каморы;
$Q_{от}$ — вес откатных частей;
Q_c — вес ствола;
$r_1=\frac{d}{2}$ — полукалибр.

Если через S обозначим площадь опасного сечения казенника, то

$$\frac{F}{S}=R_z,$$

где R_z — допускаемое напряжение на растяжение, которое не должно превосходить одной трети предела упругости металла казенника.

2. Затворы

В гнезде казенника помещается затвор с механизмами. В артиллерийской практике встречается большое количество разнообразных типов затворов. Рассмотрим подробно лишь две группы затворов, имеющих наиболее широкое распространение:

а) клиновые затворы, которые в зависимости от направления движения могут быть разделены на горизонтальные и вертикальные, и

б) поршневые затворы, которые в зависимости от конструкции поршня могут быть подразделены также на несколько видов.

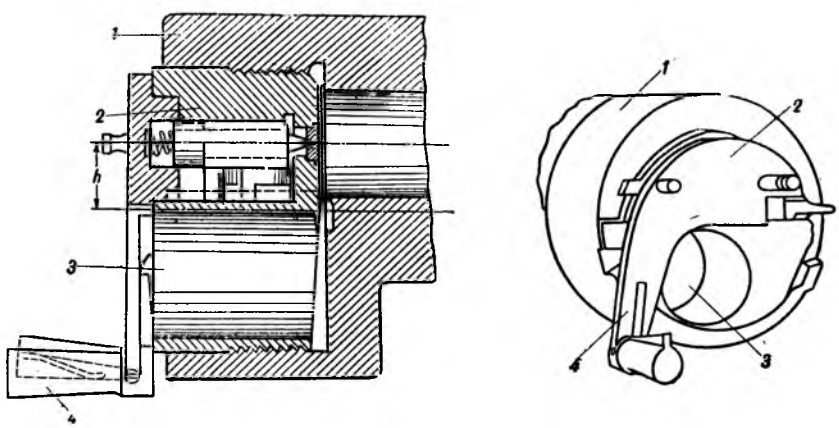


Рис. 176. Схема эксцентрического затвора:
1 — ствол; *2* — поршень; *3* — зарядное отверстие; *4* — рукоятка

На рис. 176 представлена схематически конструкция так называемого эксцентрического затвора.

В казенной части ствола *1* помещается поршень *2*, который связан с казенной частью ствола винтовой нарезкой. Ось поршня смещена вниз от оси канала ствола на величину h, которая несколько больше, чем радиус дна каморы. В одной половине поршня проделан сквозной канал *3*, имеющий диаметр больше, чем диаметр унитарного патрона.

С поршнем связана рукоятка *4* затвора. При повороте рукоятки на 180° канал, имеющийся в поршне, становится на продолжении канала ствола, и затвор открыт для заряжания. Стреляющее приспособление у этого затвора смонтировано в сплошной части поршня. Подобного типа затвор применен у 75-*мм* французской дивизионной пушки обр. 1897 г.

Крановый затвор системы Канэ представляет собой (рис. 177) обрезанный с боков параллельными гранями полушар. Когда подобный затвор находится в соответствующем гнезде казенника, то центр его лежит на оси канала, а боковые параллельные грани расположены справа и слева этой оси вертикально. На каждой грани имеется ряд концентрических желобков и выступов, сцепляющихся с соответствующими поясами в стенках затворного гнезда.

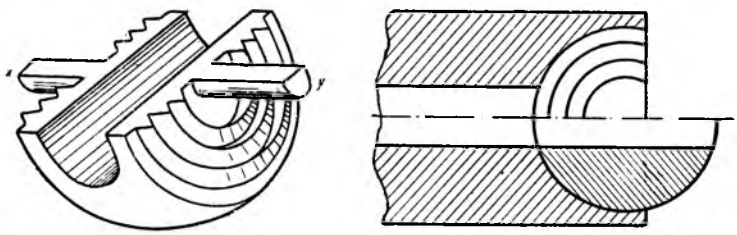


Рис. 177. Крановый затвор

Вращение затвора происходит вокруг оси *xy*, которая проходит сквозь стенки казенника. На одном из концов оси находится рукоятка затвора. При открытом затворе полуцилиндрический жолоб на затворе располагается на продолжении канала ствола. При повороте рукоятки затвора на 90° затвор повернется, полуцилиндрический жолоб займет вертикальное положение, и канал ствола окажется закрытым для производства выстрела. Подобного типа затвор был применен в некоторых орудиях французской артиллерии.

3. Сравнение клиновых и поршневых затворов

Переходя к сравнительной оценке клинового и поршневого затворов, следует заметить, что с точки зрения прочности оба типа затворов являются равноценными. В отношении легкости открывания все преимущества находятся на стороне клинового затвора. Несмотря на то что клиновой затвор при прочих равных условиях тяжелее, чем поршневой, все же его открывание легче. Это наглядно видно на примере 305-*мм* пушки, у которой поршневой затвор вместе с обтюратором весит 1 000 *кг*, а клиновой — 1 350 *кг*. Однако работа, которую необходимо затратить для закрывания при угле возвышения 10—15°, равна 248 *кгм* для поршневого и 44 *кгм* для клинового (при горизонтальном расположении).

Что касается вертикально падающих клиновых затворов, то в орудиях малых калибров вес затвора не вызывает особых затруднений.

С точки зрения заряжания клиновой затвор имеет также ряд преимуществ. При неслаженной работе замкового и заряжающего в орудиях с поршневым затвором возможно ущемление руки заряжающего, что исключается при клиновых затворах. Кроме того, при клиновом затворе при заряжании патрон посылается через вырез в казеннике, а это имеет особое преимущество для орудий, стреляющих при больших углах возвышения, в частности зенитных. Высота линии огня в этих орудиях определяется возможностью заряжания их при больших углах возвышения, что в основном лимитируется длиной патрона. Введение части патрона при заряжании в вырез в казеннике позволяет уменьшить высоту линии огня примерно на 1—2 калибра, что является также большим преимуществом затвора этого типа.

С точки зрения производства изготовление поршневого затвора труднее клинового, ибо в целях избежания заклинения поршня во время выстрела требуется хорошая центровка его в гнезде и строгая выдержка допусков, особенно на нарезных секторах поршня. Кроме того, поршневые затворы весьма чувствительны к износу трущихся поверхностей. Так называемое „провисание" или „хрипение" затвора есть результат износа опорных поверхностей проушины рамы, что приводит к преждевременному выходу поршневого затвора из строя.

4. Расчет клинового и поршневого затворов

По форме клиновые затворы бывают двух типов: цилиндро-призматические и призматические. В современных орудиях чаще всего применяются призматические (рис. 178) клиновые затворы, но с достаточно большим закруглением задних углов.

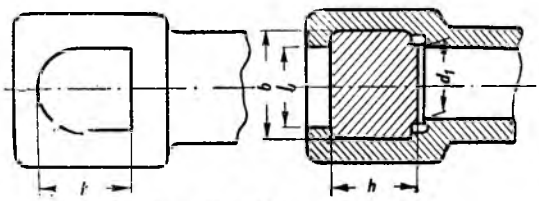


Рис. 178. Клин затвора

Толщина цилиндро-призматического клина определяется по следующей эмпирической формуле:

$$h = (1{,}2 + 0{,}0002P_0)\,d,$$

где P_0 — максимальное давление пороховых газов, выраженное в атмосферах.

Толщина призматического клина определяется приближенно. Его рассматривают как прямоугольный брус, свободно лежащий на опорах и нагруженный равномерной нагрузкой.

Введем обозначения:

P_0 — максимальное давление на дно канала в *кг/мм*²;

S — поверхность, на которую действует давление пороховых газов;

R_b — допускаемое напряжение на изгиб;

l — длина неподпертой части клина.

Тогда

$$\frac{P_0 S l}{8} = \frac{1}{6} h^2 b R_b,$$

где $S = \frac{\pi d_1^2}{4}$ (d_1 — диаметр каморы). Полагая $l = h = d_1$, получим:

$$h = 0{,}77\, d_1 \sqrt{\frac{P_0}{R_b}}.$$

Значение R_b у ряда существующих и надежно работающих затворов находится в пределах 700—750 *кг/см*².

У поршневых затворов, во избежание заклинивания поршня во время выстрела, длина поршня l, входящая в гнездо, по отношению к диаметру D_1 должна находиться в следующем отношении: $\frac{l}{D_1} = 0{,}7 \div 1$.

Для поршня, у которого нарезные секторы занимают только половину всей окружности, длину l можно определить по следующей эмпирической формуле:

$$l = (0{,}65 + 0{,}00016\,P_0)\,d_1,$$

где P_0 — максимальное давление пороховых газов, выраженное в атмосферах.

Витки нарезки поршня по отношению к его оси имеют угол наклона от 1°10′ до 1°20′. Сечение витка имеет вид равнобедренного треугольника, угол которого при основании равен 40—45°.

Наименьший диаметр D_1 нарезки поршня выбирается из соотношения

$$D_1 = d_1 + (3{,}5 \div 7{,}0)\ мм,$$

где d_1 — диаметр дна каморы.

Для более прочного соединения поршня с казенником поршни иногда делают ступенчатыми (рис. 179).

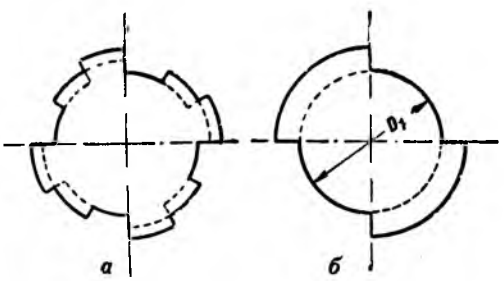


Рис. 179. Схемы поршней

На рис. 179 показаны поперечные сечения поршней, где нарезка занимает две трети окружности поршня (фиг. *а*) или только половину (фиг. *б*). Как в том, так и в другом случае поршень может иметь и цилиндрическую и коническую форму.

Не касаясь подробно устройства отдельных механизмов, ограничимся указаниями лишь на отдельные данные, которые соблюдаются в хорошо работающих затворах. Для надежной работы ударного механизма конец бойка должен быть удален от наружной поверхности боевой плитки примерно на 0,5 *мм*. При взведении боевой пружины ударник оттягивается примерно на 20 *мм*. Для того чтобы не иметь осечек, кинетическая энергия боевой пружины должна быть равна примерно 450 *кгмм*. Выход бойка при выстреле должен быть примерно 2 *мм*.

Ход выбрасывателя для получения надежной экстракции гильзы колеблется в пределах от 20 до 25 *мм*. Величины плеч лапок экстрактора выбираются, исходя из следующего соотношения:

$$\frac{R}{r} = \sqrt{\frac{M}{m}},$$

где R, r — большое и малое плечи лапок экстрактора;

M, m — масса клина (или поршня с рамой) и масса гильзы.

Что касается угла поворота кулачковых рычагов для открывания клинового затвора, то он колеблется от 85 до 100°, а ход клина составляет от 1,15 до 1,26 диаметра каморы.

5. Обтюраторы

В артиллерийской практике в настоящее время применяются два типа обтюраторов: металлическая гильза (при затворах всех типов) и пластический обтюратор Банжа (в поршневых затворах для картузного заряжания). Тот и другой типы обтюратора имеют свои преимущества и недостатки.

Гильза с точки зрения газонепроницаемого запирания канала ствола является безупречным обтюратором, но обладает следующими основными недочетами.

1) При транспортировке вес гильзы является мертвым весом элемента выстрела (20—30% от веса всего патрона). Однако если учесть вес

герметической укупорки зарядов при картузном заряжании, то этот недочет гильзы значительно уменьшается.

2) Сравнительно большая стоимость гильзы и необходимость применения цветных металлов. Последнее может быть ликвидировано при удачном разрешении вопроса применения железной гильзы.

Однако, несмотря на эти недочеты, гильза имеет и ряд существенных преимуществ, а именно:

1) Удобство заряжания и применения унитарного патрона, что повышает скорострельность. Применение унитарного патрона считается возможным, если его общий вес не превосходит 25 *кг*.

2) Обеспечение хорошей сохранности боевого заряда и более равномерного его воспламенения при выстреле.

3) Исключение возможности преждевременного воспламенения боевого заряда от несгоревших частиц заряда и картуза предыдущего выстрела.

Пластические обтюраторы Банжа имеют следующие недостатки:

1) Надежность обтюрирования зависит от температуры. Замерзшие обтюраторы необходимо перед стрельбой подогревать.

2) В мощных орудиях, работающих при больших давлениях, необходима частая смена обтюрирующего кольца.

3) Части обтюрирующего кольца могут срываться и оставаться в канале ствола, а поэтому после каждого выстрела рекомендуется обтюратор осматривать.

Для того чтобы любой обтюратор выполнял свое назначение, он должен удовлетворять следующим основным требованиям:

а) давление со стороны обтюратора на стенки его гнезда должно быть больше, чем давление пороховых газов;

б) для обеспечения плотного прилегания обтюратор должен быть изготовлен из пластичного и в то же время достаточно прочного материала;

в) материал обтюратора должен обладать достаточно высокой температурой плавления и не приставать к стенкам гнезда;

г) после выстрела обтюратор не должен препятствовать открыванию затвора и должен свободно извлекаться из своего гнезда.

На практике наиболее трудно осуществляется первое требование, однако при несоблюдении этого требования нельзя достигнуть надежной обтюрации.

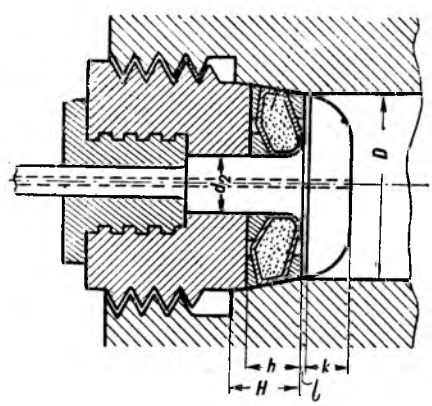


Рис. 180. Обтюратор Банжа

Обтюратор Банжа принадлежит к типу обтюраторов с начальным давлением, которое создается в момент поджатия обтюратора при закрывании затвора (рис. 180). Его устройство вкратце сводится к следующему. Сквозь поршень затвора пропущен грибовидный стержень, на головку которого действует давление пороховых газов в канале ствола p_1. Между поршнем и грибовидным стержнем помещается обтюрирующее кольцо. Оно изготовлено из пластичной массы, которая состоит примерно из 65% асбеста и 35% бараньего сала. Эта масса спрессована до определенной плотности и помещена в холщевую ткань. Если обозначим через D и d_2 диаметр головки грибовидного стержня и диаметр стержня и если допустить, что распространение давления в массе обтюрирующего кольца происходит так же, как в жидкости, то

$$\frac{\pi}{4} D^2 p_1 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_2^2) p_2,$$

откуда

$$p_2 = \frac{p_1}{1 - \left(\frac{d_2}{D}\right)^2},$$

где p_2 — давление, с которым обтюрирующее кольцо прижимается к коническому скату каморы.

На практике $d_2 = \frac{1}{3} D$, и следовательно,

$$p_2 = \frac{9}{8} p_1,$$

т. е. давление p_2 на обтюрирующих поверхностях кольца в 1 $^1/_8$ раза больше давления пороховых газов в канале ствола, чем и обеспечивается надежная работа пластического обтюратора Банжа.

ОТДЕЛ СЕДЬМОЙ

ТЕОРИЯ ЛАФЕТОВ

★

ГЛАВА 1

ВВЕДЕНИЕ

1. Типы лафетов

Лафетом называется часть орудия, предназначаемая для удобного обращения со стволом как в боевом положении орудия, так и при движении.

Лафеты современных артиллерийских орудий обычно разделяют на две основные группы:

1) лафеты подвижных артиллерийских орудий;

2) лафеты стационарных, или неподвижных, артиллерийских орудий.

К подвижным установкам относят орудия, снабженные для передвижения ходовыми частями и позволяющие вести огонь непосредственно с грунта.

К стационарным артиллерийским установкам относят орудия, которые неподвижно соединены с основанием установки, заблаговременно устроенным в определенной точке местности (стационарные зенитные установки, береговая артиллерия) или же составляющим часть какой-либо конструкции (судовая, танковая артиллерия).

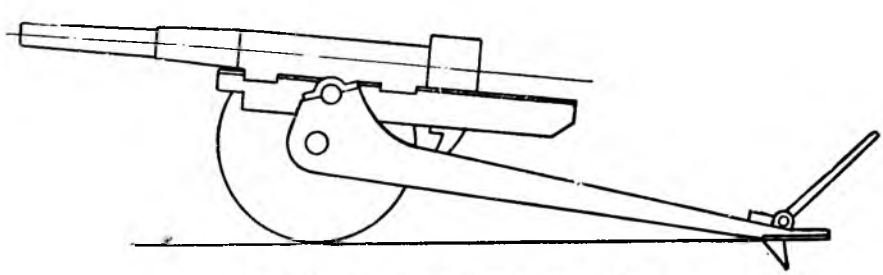


Рис. 181. Орудие на колесном лафете

К стационарным или полустационарным установкам относят также и такие, которые хотя и имеют ходовые части для передвижения, но по характеру соединения с основанием сходны с установками стационарного типа (зенитные установки на повозках, железнодорожные установки, авиационные установки).

Конструкция лафета и способ соединения его с основанием, на котором покоится орудие во время выстрела, зависят от назначения данного орудия, условий его эксплоатации, а также от способа перевозки.

На рис. 181 представлена схема колесного лафета, опирающегося на основание двумя колесами и хоботом, а на рис. 182 — колесного лафета, имеющего четыре точки опоры: два колеса и две раздвижные станины (лапы) с хоботами.

Преимущество лафета последнего типа по сравнению с первым заключается в возможности получения большого угла горизонтального обстрела (порядка 60—90° против 5—8°). Это имеет важное значение с точки зрения действительной борьбы с подвижными целями и быстроты переноса огня с одной цели на другую (маневр огнем).

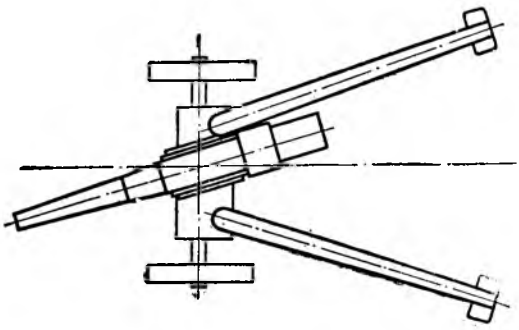


Рис. 182. Орудие на лафете с раздвижными станинами

Лафет с гусеничным ходом (рис. 183) принципиально ничем не отличается от колесного лафета. Вместо колес здесь имеются гусеницы (бесконечная лента, состоящая из шарнирно соединенных звеньев — траков).

Гусеницы дают малое удельное давление на грунт даже при большом весе орудия, и благодаря этому орудие получает бóльшую проходимость.

Лафеты указанных типов передают вертикальные усилия, возникающие во время выстрела, на грунт посредством колес (гусениц) и хоботового листа (плато); горизонтальное усилие передается через сошник.

Самоходный лафет отличается от лафета с гусеничным ходом тем, что на нем устанавливается мотор для приведения в движение гусениц, а следовательно, и всей установки.

При выстреле самоходный лафет передает все усилия на грунт через гусеницы.

Подробное описание устройства колесных лафетов, а также характеристика типов и устройства стационарных и других артиллерийских установок даны в разделе „Материальная часть артиллерии“ данного труда. При дальнейшем изложении вопросов теории лафетов будем иметь в виду главным образом колесный лафет полевых орудий.

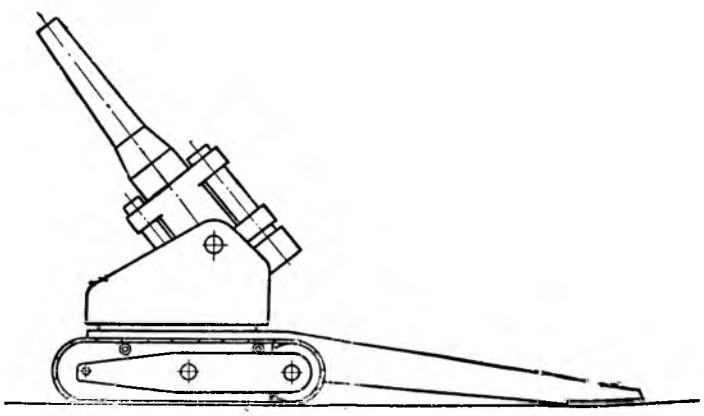


Рис. 183. Орудие на гусеничном лафете

В состав колесного лафета современного артиллерийского орудия входят обычно следующие агрегаты:

1) люлька с противооткатными устройствами (тормоз отката, накатник, тормоз наката);
2) верхний станок, или вертлюг;
3) механизмы вертикального и горизонтального наведения;
4) уравновешивающий механизм;
5) нижний станок со станинами, сошником и правилом;

6) ходовые части: боевая ось с колесами (или гусеницами), подрессориванием и тормозами;

7) щитовое прикрытие;

8) механизмы крепления по-походному;

9) некоторые дополнительные механизмы (например, в орудиях большого калибра — краны, домкраты, механизм приведения к углу заряжания и т. д.).

Теория лафетов изучает действие выстрела на лафет и устанавливает основания для рационального расчета и проектирования лафетов и их механизмов.

2. Действие выстрела на жесткий лафет

До конца прошлого века лафет артиллерийского орудия представлял весьма простую конструкцию (рис. 184). Он состоял из двух станин, соединенных друг с другом с помощью болтов и связей. В междустанинном пространстве помещался подъемный механизм—клин или винт, а позднее—зубчатая дуга. Для горизонтальной наводки орудия предназначалось правило, а иногда особые рычаги, называвшиеся „гандшпугами". Ствол орудия накладывался своими цапфами на цапфенные гнезда лафета и удерживался в них наметками.

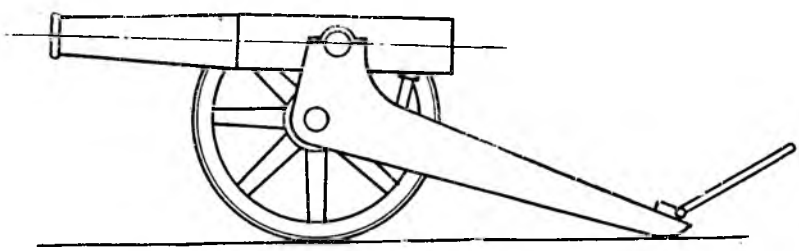


Рис. 184. Орудие на жестком лафете

В силу такого, жесткого, соединения ствола с лафетом орудия указанного устройства получили название о р у д и й н а ж е с т к о м л а ф е т е.

При выстреле давление пороховых газов на дно канала ствола передавалось через цапфы непосредственно на лафет, вызывая в нем значительные напряжения и заставляя орудие подпрыгивать и далеко откатываться назад.

Для уменьшения длины отката (в крепостных и осадных установках) позади колес лафета устанавливались так называемые „откатные клинья", на которые орудие накатывалось при откате и скатывалось обратно к исходному положению после поглощения живой силы отдачи.

В последних образцах орудий на жестком лафете (полевые орудия 1877 г.) появился небольшой сошник, который бороздил при откате грунт и таким образом тормозил откат. Длина отката у этих орудий оказывалась меньше, чем у прежних орудий, не имевших сошника, но зато „подпрыгивание" лафета во время выстрела увеличилось; в результате получалось сильное сбивание наводки и понижение кучности и скорострельности орудия.

Для выявления причин сильного подпрыгивания такого орудия во время выстрела рассмотрим действие выстрела на лафет данной конструкции (рис. 185). При этом будем предполагать, что:

1) стрельба ведется при угле возвышения $\varphi > 0$;

2) орудие установлено на горизонтальном основании;

3) сошник врезается в грунт и препятствует перемещению лафета,

4) во время выстрела колеса лафета все время давят на грунт;

5) все силы, действующие на орудие, лежат в плоскости симметрии орудия.

Силы, действующие на орудие во время выстрела в указанных условиях, будут:

$P_{кн}$ — равнодействующая сил, возникающих при выстреле в канале ствола, приложенная к дну канала и направленная вдоль его оси в сторону обратную движению снаряда. Эту силу будем далее называть просто „сила P канала".

$Q_б$ — сила веса орудия в боевом положении, приложенная к центру тяжести его и направленная по вертикали вниз.

$N_{хб}$ и $T_{хб}$ — вертикальная и горизонтальная составляющие реакции грунта на сошник, направленные, как показано на рисунке (для упрощения точку приложения реакции грунта C принимаем лежащей в плоскости основания).

$N_{лб}$ — вертикальная реакция грунта на колеса.

Оси координат направляем так, как показано на рисунке.

Предположим, что орудие находится под действием указанных сил и реакций и остается в равновесии, т. е. сохраняет устойчивость и неподвижность. Под устойчивостью будем понимать такое состояние орудия во время выстрела, когда колеса все время давят на грунт, а под неподвижностью — отсутствие перемещения лафета по грунту.

Применим к данному случаю известные из механики условия равновесия системы:

$$\Sigma X_i = 0;\ \Sigma Y_i = 0;\ \Sigma M_i = 0,$$

причем за ось моментов примем прямую, проходящую через точку C опоры хобота на грунт и перпендикулярную плоскости рис. 185.

Обозначим через:

h — плечо действия силы $P_{кн}$ относительно точки C;

L — расстояние по горизонту от точки C до точки опоры колес;

D — расстояние по горизонту от той же точки C до центра тяжести орудия.

Тогда

$$\Sigma X_i = P_{кн}\cos\varphi - T_{хб} = 0; \tag{1}$$

$$\Sigma Y_i = N_{лб} - Q_б - P_{кн}\sin\varphi + N_{хб} = 0; \tag{2}$$

$$\Sigma M_i = P_{кн}h + N_{лб}L - Q_б D = 0. \tag{3}$$

Решая эти уравнения относительно реакций $T_{хб}$, $N_{хб}$ и $N_{лб}$, получим:

$$T_{хб} = P_{кн}\cos\varphi; \tag{4}$$

$$N_{хб} = P_{кн}\sin\varphi + Q_б - N_{лб}; \tag{5}$$

$$N_{лб} = \frac{Q_б D - P_{кн}h}{L}. \tag{6}$$

Определим величину плеча h, которое входит в выражение реакции $N_{лб}$ (рис. 185).

Введем обозначения:

H_0 — высота линии огня, или расстояние от оси канала ствола орудия до горизонта при $\varphi = 0$ (ось цапф пересекается с осью канала ствола).

$d_ц$ — расстояние между осью цапф и точкой C по горизонту.

Как видно из рис. 185,

$$h = a - b,$$

причем $a = H_0 \cos\varphi$ и $b = d_ц \sin\varphi$. Тогда

$$h = H_0 \cos\varphi - d_ц \sin\varphi. \tag{7}$$

Подставляя это значение h в выражение для реакции $N_{лб}$, получим окончательно:

$$T_{хб} = P_{кн} \cos\varphi; \tag{8}$$

$$N_{лб} = \frac{Q_б D - P_{кн}(H_0 \cos\varphi - d_ц \sin\varphi)}{L}; \tag{9}$$

$$N_{хб} = P_{кн} \sin\varphi + Q_б - N_{лб}. \tag{10}$$

Из полученных уравнений видно, что все эти реакции являются функциями угла возвышения φ.

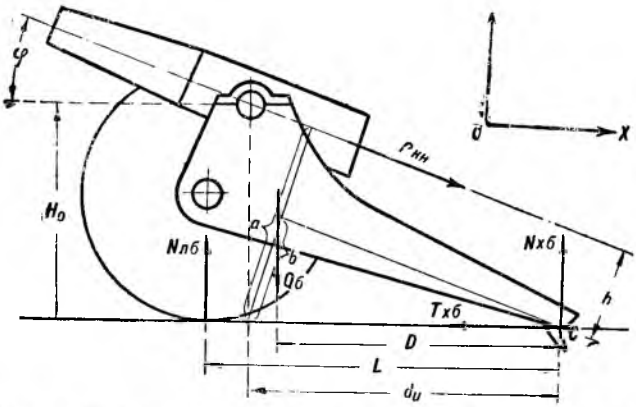


Рис. 185. Схема действия выстрела на орудие на жестком лафете

В устойчивом орудии колеса будут все время давить на грунт, и следовательно, реакция $N_{лб}$ будет больше нуля или в предельном случае равна нулю. Тогда на основании равенства (9) условие устойчивости орудия напишется так:

$$Q_б D - P_{кн}(H_0 \cos\varphi - d_ц \sin\varphi) \geqslant 0, \tag{11}$$

или

$$Q_б D \geqslant P_{кн} h. \tag{12}$$

Левая часть неравенства (12), равная $Q_б D$, представляет момент, стабилизирующий орудие, а правая часть, $P_{кн} h$, — момент, опрокидывающий орудие.

Положим, что стрельба ведется при угле возвышения $\varphi = 0$. В этом случае на основании равенства (8) будем иметь:

$$T_{хб} = P_{кн}, \tag{13}$$

а на основании неравенства (11)

$$Q_б D \geqslant P_{кн} H_0. \tag{14}$$

Равенство (13) представляет условие неподвижности, а неравенство (14) — условие устойчивости орудия на жестком лафете при стрельбе под углом возвышения $\varphi = 0$.

Исследуем на примере 76-*мм* пушки вопрос о практической выполнимости этих условий при следующих данных. $Q_б = 1\,100$ *кг*; $H_0 = 1$ *м*; $D = 2{,}3$ *м*; $P_{кн\ max} = 110\,000$ *кг*.

Тогда при $\varphi = 0$ имеем:

$$T_{хб} = P_{кн\ max} = 110\,000 \text{ кг}.$$

Принимая допускаемое удельное давление сошника на грунт $p_0 = 4$ *кг/см*^{2}, получим опорную поверхность лопаты сошника Ω, обеспечивающую выполнение условия неподвижности:

$$\Omega = \frac{T_{хб}}{p_0} = \frac{P_{кн\,max}}{p_0} = \frac{110\,000}{4} = 27\,500 \text{ см}^2 = 2{,}75 \text{ м}^2.$$

Очевидно, что изготовление сошника с такой опорной поверхностью привело бы к совершенно неприемлемым его размерам и весу. Следовательно, условие неподвижности невыполнимо.

Из условия устойчивости (14) видно, что в данном случае

$$Q_б D = 1\,100 \cdot 2{,}3 = 2\,530 \text{ кгм};$$

$$P_{кн\ max} H_0 = 110\,000 \cdot 1 = 110\,000 \text{ кгм},$$

и следовательно,

$$Q_б D < P_{кн\ max} H_0,$$

т. е. условие устойчивости также далеко не выполняется.

Этот частный пример имеет, однако, общее значение, а потому можно сделать вывод: при стрельбе под углом возвышения $\varphi = 0$ условия неподвижности и устойчивости для орудия, установленного на жестком лафете, практически невыполнимы.

Рассмотрим вопрос о значении угла возвышения φ.

Возьмем неравенство (11):

$$Q_б D - P_{кн}(H_0 \cos\varphi - d_ц \sin\varphi) \geqslant 0.$$

Когда орудие будет на пределе устойчивости, то неравенство обратится в равенство. Угол φ, при котором это произойдет, будет предельным углом устойчивости орудия. Обозначим это значение угла возвышения φ через $\varphi_{пр}$. Тогда можно написать:

$$P_{кн}(H_0 \cos\varphi_{пр} - d_ц \sin\varphi_{пр}) = Q_б D, \tag{15}$$

или

$$H_0 \cos\varphi_{пр} - d_ц \sin\varphi_{пр} = \frac{Q_б D}{P_{кн}}.$$

Для решения задачи воспользуемся известным тригонометрическим тождеством:

$$a \cos\alpha - b \sin\alpha = \sqrt{a^2 + b^2} \cdot \cos\left(\alpha + \operatorname{arc\,tg} \frac{b}{a}\right) = c. \tag{16}$$

В нашем случае: $\alpha = \varphi_{пр}$; $a = H_0$; $b = d_ц$.

$$\sqrt{a^2 + b^2} \cdot \cos\left(\alpha + \operatorname{arc\,tg} \frac{b}{a}\right) = \frac{Q_б D}{P_{кн}} = c.$$

Отсюда

$$\cos\left(\alpha + \operatorname{arc\,tg} \frac{b}{a}\right) = \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}}.$$

и далее

$$\alpha = \arccos \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} - \operatorname{arc\,tg} \frac{b}{a}. \qquad (17)$$

Подставляя значения α, a, b и c в уравнение (17), получим окончательно:

$$\varphi_{пр} = \arccos \frac{Q_б D}{P_{кн} \sqrt{H_0^2 + d_ц^2}} - \operatorname{arc\,tg} \frac{d_ц}{H_0}. \qquad (18)$$

Выведенную формулу применим для определения значения $\varphi_{пр}$ к рассмотренной выше 76-*мм* пушке.

Положим, что $d_ц = 2{,}5$ *м*. Тогда

$$\varphi_{пр} = \arccos \frac{1100 \cdot 2{,}3}{110000 \sqrt{1^2 + 2{,}5^2}} - \operatorname{arc\,tg} \frac{2{,}5}{1} \approx$$

$$\approx \arccos 0{,}0086 - \operatorname{arc\,tg} 2{,}5 \approx 89°30' - 68°30' \approx 21°.$$

Таким образом, орудие при данных характеристиках будет устойчиво при стрельбе только под углами возвышения $\varphi \geqslant 21°$.

Если иметь в виду, что основное назначение данного орудия — ведение огня по открытым целям, т. е. стрельба при настильной траектории, когда углы возвышения небольшие, полученное выше значение угла $\varphi_{пр}=21°$, конечно, нельзя признать удовлетворительным. Необходимо этот угол иметь возможно меньшим.

Современные орудия того же калибра и назначения имеют угол $\varphi_{пр}$ в пределах от 0° до 5°.

3. Орудие с откатом по оси канала ствола

В конце XIX века появились орудия с откатом по оси канала ствола. Принцип устройства этих орудий заключается в следующем (рис. 188, стр. 306).

Ствол орудия накладывается на люльку так, что при выстреле он может вместе с некоторыми другими деталями перемещаться по ней вдоль оси канала ствола в направлении обратном движению снаряда.

Люлька связывается через цапфы со станком (неподвижная часть орудия), и с помощью подъемного механизма она вместе со стволом может качаться в вертикальной плоскости (при придании углов возвышения).

Явление перемещения ствола по люльке во время выстрела называется откатом, а ствол вместе с частями, которые участвуют в откате, называют откатными частями орудия.

Для поглощения живой силы откатных частей, приобретенной ими под действием выстрела, а затем для накатывания их в исходное положение служат гидравлический тормоз отката и накатник, которые помещаются обычно внутри люльки, составляя противооткатные устройства.

Благодаря связи ствола со станком посредством противооткатных устройств последний при выстреле не подвергается непосредственному действию огромной силы $P_{кн}$, развивающейся в канале при выстреле, а только испытывает действие реакции противооткатных устройств. Эта реакция значительно меньше силы $P_{кн}$, что позволяет без особого труда обеспечить прочность лафета, устойчивость и неподвижность орудия при выстреле. Неподвижность при этом достигается применением сошника небольших размеров.

Таким образом, орудия с откатом по оси канала имеют большие преимущества по сравнению с орудиями на жестком лафете.

4. Устройство и действие гидравлического тормоза и гидропневматического накатника

Идея устройства гидравлического тормоза состоит в следующем (рис. 186).

Внутри цилиндра *1*, наполненного жидкостью, помещается поршень *2* со штоком *3*. Цилиндр закреплен неподвижно в люльке.

В поршне имеются небольшие отверстия *4*. Шток поршня соединен с бородой *5* казенника ствола.

Во время отката ствола поршень со штоком будет перемещаться внутри цилиндра, а жидкость через отверстия в поршне—пробрызгиваться из объема *I* в возрастающий объем *II*.

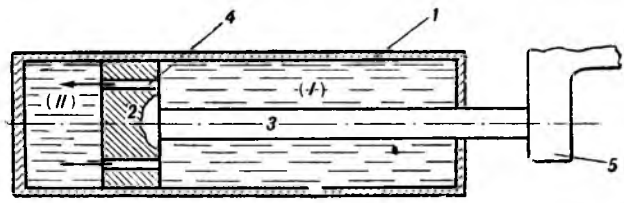


Рис. 186. Гидравлический тормоз отката:

1 — цилиндр тормоза; *2* — поршень; *3* — шток; *4* — отверстия; *5* — борода

На преодоление сопротивления жидкости пробрызгиванию через эти отверстия и будет расходоваться, главным образом, энергия движения откатных частей. Другая часть энергии отката поглощается работой силы накатника и сил трения, возникающих на направляющих люльки и в сальниковых уплотнениях тормоза и накатника.

Идея устройства гидропневматического накатника[1] состоит в следующем (рис. 187). Цилиндр *6*, закрепленный неподвижно в люльке, наполнен жидкостью. Внутри цилиндра помещается поршень *7* со штоком *8*. Шток соединен с бородой *5* казенника ствола. В правой части цилиндра около

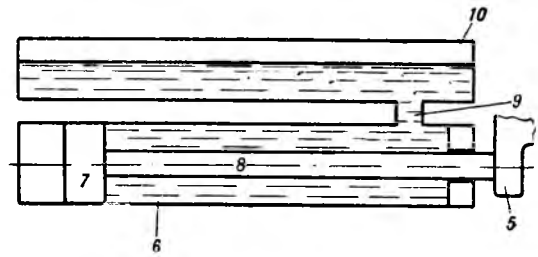


Рис. 187. Гидропневматический накатник:

5 — борода; *6* — цилиндр; *7* — поршень; *8* — шток; *9* — соединительный канал; *10* — воздушный цилиндр

дна имеется отверстие, которое ведет в соединительный канал *9*. Последний соединяет цилиндр *6* с цилиндром *10*, заполненным частично жидкостью. Все остальное пространство внутри цилиндра *10* заполнено воздухом (или каким-либо газом), находящимся в поджатом состоянии.

Во время отката поршень со штоком будет перемещаться внутри цилиндра, а жидкость из пространства между поршнем и дном цилиндра *6*—перетекать через соединительный канал в цилиндр *10*, сжимая находящийся там воздух. На дополнительное сжатие этого воздуха будет расходоваться некоторая часть энергии движения откатных частей.

---

[1] Применяются также и пружинные накатники. Схема их устройства будет дана ниже.

По окончании отката энергия, аккумулированная накатником, используется для наката откатных частей к их исходному положению до выстрела.

Действительно, как только прекратится откат, воздух, сжатый в цилиндре *10*, оказывая давление на жидкость, заставит ее переходить обратно в цилиндр накатника *6*. Жидкость будет давить в свою очередь на поршень и через шток заставит ствол вернуться в исходное до выстрела положение.

Однако энергия, накопленная накатником при откате, обычно будет больше энергии, необходимой для выполнения нормального накатывания ствола. Во избежание быстрого наката и возможных ударов о люльку накатывающихся частей, в противооткатных устройствах предусматривается специальное устройство, поглощающее избыток энергии накатника и регулирующее накат. Это устройство называется тормозом наката или модератором.

Совокупность трех агрегатов—тормоза отката, накатника и тормоза наката—носит название противооткатных устройств.

ГЛАВА II

ДЕЙСТВИЕ ВЫСТРЕЛА НА СОВРЕМЕННОЕ ОРУДИЕ

1. Действие выстрела на орудие с откатом по оси канала ствола

Положим, что стрельба ведется при тех же условиях, что и в рассмотренном выше случае стрельбы из орудия на жестком лафете.

Такое орудие вследствие перемещения при выстреле откатных частей с точки зрения механики представляет изменяемую систему, к которой кроме внешних приложены еще и внутренние силы.

Поэтому, чтобы составить уравнение равновесия орудия, необходимо к внешним силам, действующим на него, на основании принципа Даламбера, присоединить еще силу инерции откатных частей, приложив ее к центру тяжести последних:

$$\frac{Q_o}{g} j_0 = P_{кн} - R, \tag{19}$$

где Q_o — вес откатных частей орудия;

j_0 — ускорение отката;

R — равнодействующая сила сопротивления откату.

Силы, действующие при этом на орудие, будут следующие:

$P_{кн}$ — равнодействующая сила, приложенная к дну канала ствола;

$Q_б$ — сила веса орудия в боевом положении;

$N_{хб}$ и $T_{хб}$ — вертикальная и горизонтальная реакции грунта на сошник (реакцию грунта на сошник будем предполагать приложенной к центру тяжести C опорной поверхности сошника);

$N_{лб}$ — вертикальная реакция грунта на колеса.

Предполагаем для общности рассуждений, что центр тяжести откатных частей расположен на некотором расстоянии e ниже оси канала ствола.

В момент максимального давления газов сила инерции $\frac{Q_o}{g} j_0$ направлена в сторону, противоположную направлению отката (рис. 188).

Введем обозначения:

L — расстояние по горизонту между точкой опоры колес и точкой C;

D — расстояние по горизонту между центром тяжести орудия и точкой C;

h — расстояние по перпендикуляру между точкой C и траекторией центра тяжести откатных частей при откате.

Принимая направление координатных осей, как показано на рис. 188, напишем уравнения проекций всех сил и их моментов. За ось моментов примем прямую, проходящую через точку опоры сошника C и перпендикулярную плоскости чертежа.

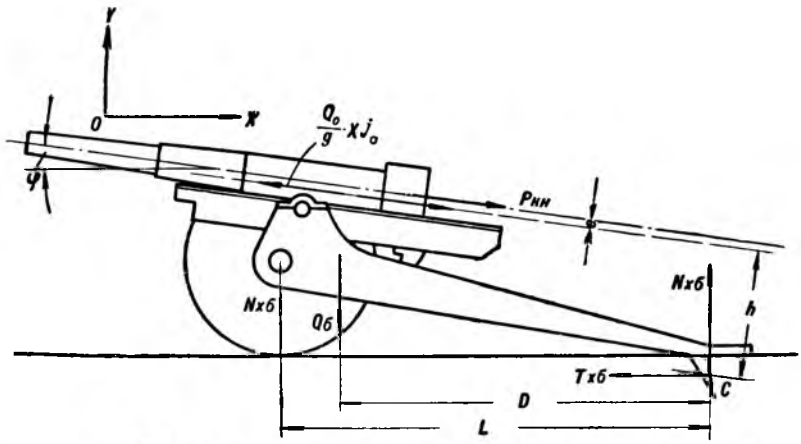


Рис. 188. Схема действия выстрела на современное орудие

Уравнения проекций:

на ось OX:

$$P_{кн}\cos\varphi - \frac{Q_0}{g} j_0 \cos\varphi - T_{хб} = 0; \tag{20}$$

на ось OY:

$$N_{лб} - Q_б + \frac{Q_0}{g} j_0 \sin\varphi - P_{кн}\sin\varphi + N_{хб} = 0. \tag{21}$$

Уравнение моментов:

$$P_{кн}(h+e) - \frac{Q_0}{g} j_0 h + N_{лб} L - Q_б D = 0. \tag{22}$$

Решим эти уравнения относительно реакций $T_{хб}$, $N_{лб}$ и $N_{хб}$.

Из уравнения (20) находим:

$$T_{хб} = \left(P_{кн} - \frac{Q_0}{g} j_0\right)\cos\varphi. \tag{23}$$

Из уравнения (22):

$$N_{лб} = \frac{Q_б D - P_{кн}(h+e) + \frac{Q_0}{g} j_0 h}{L}. \tag{24}$$

Из уравнения (21):

$$N_{хб} = \left(P_{кн} - \frac{Q_0}{g} j_0\right)\sin\varphi + Q_б - N_{лб}. \tag{25}$$

Подставляя в эти уравнения значение $\frac{Q_0}{g} f_0$ из уравнения (19) и сделав очевидные преобразования, получим:

$$T_{хб} = R\cos\varphi; \tag{26}$$

$$N_{лб} = \frac{Q_б D - P_{кн} e - Rh}{L}; \tag{27}$$

$$N_{хб} = R\sin\varphi + Q_б - N_{лб}. \tag{28}$$

Если орудие во время отката остается устойчивым, т. е. колеса лафета не отделяются от основания, то реакция $N_{лб}$ будет больше нуля или в предельном случае равна нулю, и следовательно, условие устойчивости можно написать в виде неравенства

$$Q_б D - P_{кн} e - Rh \geqslant 0, \tag{29}$$

или

$$P_{кн} e + Rh \leqslant Q_б D. \tag{30}$$

В случае расположения центра тяжести откатных частей на оси канала ствола величина $e = 0$, и тогда условие устойчивости примет совсем простой вид:

$$Rh \leqslant Q_б D. \tag{31}$$

Рассматривая уравнения (26), (27) и (28), можно сделать следующий вывод: действие выстрела на орудие с откатом вдоль оси канала ствола в плоскости стрельбы сводится к возникновению одной силы R, равной по величине равнодействующей силе сопротивлений откату, приложенной к центру тяжести откатных частей и направленной в сторону отката, и к паре сил с моментом $P_{кн} e$ (см. рис. 191).

В том случае, когда центр тяжести откатных частей лежит на оси канала ствола, т. е. когда плечо e равно нулю, действие выстрела в плоскости стрельбы сводится только к одной силе R.

В современных орудиях на колесном лафете величина силы R примерно составляет $^1/_{40} — ^1/_{30}$ максимального значения силы $P_{кн}$, а плечо e равно обычно нескольким миллиметрам. Следовательно, добиться устойчивости таких орудий значительно легче, нежели орудий с жестким лафетом. Вместе с тем обеспечить и неподвижность таких орудий, т. е. удержать их от перемещения по основанию с помощью сошника, притом небольших размеров и веса, нетрудно, так как величина реакции $T_{хб}$, действующей на сошник, сравнительно невелика.

Высказанные положения показывают, какими преимуществами обладает современный лафет по сравнению с жестким лафетом.

Уравнение (26) $T_{хб} = R\cos\varphi$ представляет условие неподвижности орудия при выстреле, а неравенство (30) $P_{кн} e + Rh \leqslant Q_б D$ — условие устойчивости.

Момент $P_{кн} e$ называется моментом динамической пары, а плечо e — плечом динамической пары.

Уравнения (26), (27) и (28) применяются при расчетах конструктивных размеров деталей лафета: станин, боевой оси, сошника и хоботового листа.

При исследовании вопроса о действии выстрела на лафет, в целях упрощения рассуждений, не был рассмотрен характер действия на орудие реакции ведущего пояска снаряда в период его движения по каналу. Рассмотрим это теперь. В период движения снаряда по каналу реакция ведущего пояска, действующая на боевую грань нарезов, будет создавать момент, стремящийся вращать ствол (при правой нарезке) в направлении, противоположном направлению движения часовой стрелки.

Величина этого момента в случае нарезки постоянной крутизны будет равна:

$$M_{вр} = \lambda P_{сн} r \operatorname{tg} \theta, \qquad (32)$$

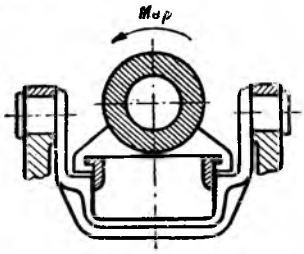


Рис. 189. Схема действия вращающего момента M

где λ — коэфициент, равный 0,53 — 0,65;
$P_{сн}$ — сила давления на дно снаряда;
r — полукалибр $\left(r = \frac{d}{2}\right)$;
θ — угол крутизны нарезки.

Этот момент $M_{вр}$ через захваты ствола будет передаваться на люльку и далее через цапфы будет восприниматься лафетом (рис. 189).

Для боковой устойчивости[1] орудия этот момент неопасен, так как он незначителен по величине. Обычно $M_{вр}$ принимается во внимание при расчете прочности цапф и гнезд для них.

2. Условие устойчивости орудия во время отката

Рассмотрим более подробно неравенство (30), т. е. условие устойчивости орудия во время отката:

$$P_{кн} e + Rh \leqslant Q_б D. \qquad (30)$$

Левая часть неравенства представляет момент, опрокидывающий орудие, а правая — момент, стабилизирующий орудие.

При откате общий центр тяжести орудия будет перемещаться к хоботу лафета; следовательно, величина D в правой части неравенства является величиной переменной.

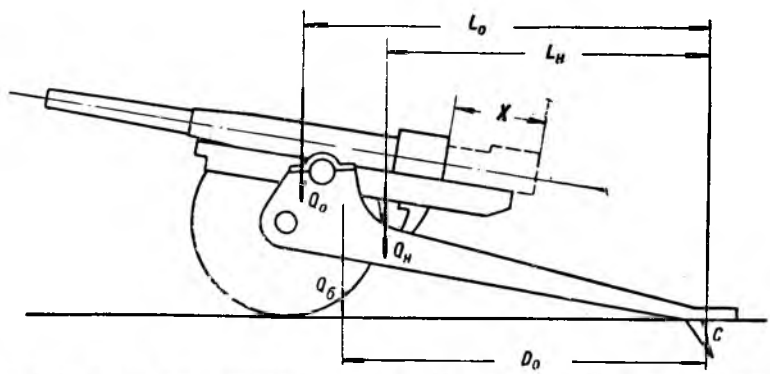


Рис. 190. Схема для определения плеча D в зависимости от пути отката

Найдем значение момента $Q_б D$ в зависимости от пути откатных частей X.

Полный вес орудия в боевом положении $Q_б$ можно представить как сумму Q_0 (вес откатных частей) и $Q_н$ (вес неподвижных частей орудия), т. е.

$$Q_б = Q_0 + Q_н. \qquad (33)$$

Положим, что:

D_0 — расстояние по горизонту центра тяжести орудия от точки C до выстрела;

[1] Боковой устойчивостью называется устойчивость орудия в боковом направлении.

D — то же расстояние в рассматриваемый момент отката;

L_0 — расстояние по горизонту центра тяжести откатных частей от точки C до выстрела;

L_x — то же расстояние в рассматриваемый момент отката;

$L_н$ — расстояние по горизонту центра тяжести неподвижных частей лафета от точки C (величина, постоянная во время отката).

Тогда на основании известного положения механики:

$$Q_б D = Q_0 L_x + Q_н L_н. \tag{34}$$

Из рисунка следует:

$$L_x = L_0 - X\cos\varphi. \tag{35}$$

Подставляя это выражение в уравнение (34), получим:

$$Q_б D = Q_0 (L_0 - X\cos\varphi) + Q_н L_н,$$

или

$$Q_б D = Q_0 L_0 + Q_н L_н - Q_0 X\cos\varphi. \tag{36}$$

Для момента, отвечающего началу отката:

$$D = D_0 \text{ и } X = 0;$$

следовательно,

$$Q_б D_0 = Q_0 L_0 + Q_н L_н. \tag{37}$$

Подставляя равенство (37) в уравнение (36), получим:

$$Q_б D = Q_б D_0 - Q_0 X\cos\varphi. \tag{38}$$

Последнее выражение внесем в неравенство (30) и тогда получим условие устойчивости во время отката:

$$P_{кн} e + Rh \leqslant Q_б D_0 - Q_0 X\cos\varphi. \tag{39}$$

Рассматривая неравенство (39), можно сделать следующие заключения.

1) Устойчивость орудия в период действия пороховых газов на дно канала ствола тем больше, чем меньше плечо динамической пары e.

2) Устойчивость орудия тем больше, чем меньше сила торможения отката R и чем меньше плечо h этой силы относительно точки опоры сошника C.

3) С увеличением веса орудия в боевом положении $Q_б$ устойчивость орудия увеличивается.

4) Устойчивость орудия увеличивается с увеличением плеча D_0, т. е. с увеличением длины лафета.

5) С увеличением угла возвышения φ устойчивость орудия увеличивается, так как при этом вследствие уменьшения плеча h левая часть неравенства (39) будет уменьшаться, а член $Q_0 X\cos\varphi$ — убывать.

6) Устойчивость орудия уменьшается по мере отката, т. е. с увеличением пути откатных частей X.

7) С увеличением веса откатных частей Q_0 устойчивость орудия повышается.

Последнее заключение непосредственно не вытекает из неравенства (39), и для выяснения характера влияния указанного фактора на устойчивость орудия требуется особое исследование.

При проектировании артиллерийского орудия конструктор руководствуется тактико-техническими требованиями. Эти требования представляют перечень различных характеристик: балистических

тактических, технических, весовых и габаритных, какими должен обладать проектируемый образец.

Задача конструктора состоит в том, чтобы разработать проект, удовлетворяющий указанным тактико-техническим требованиям при одновременном удовлетворении условия устойчивости орудия при стрельбе под углом возвышения, равным предельному углу устойчивости.

3. Предельный угол устойчивости

Рассматривая условие устойчивости (39):

$$P_{кн} e + Rh \leqslant Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi,$$

видим, что при некотором значении угла возвышения φ неравенство обращается в равенство, а затем меняет знак на обратный. Назовем это значение φ через $\varphi_{пр}$. Таким образом, предельным углом устойчивости $\varphi_{пр}$ называется тот наименьший угол возвышения, при котором орудие остается еще устойчивым.

Иногда угол $\varphi_{пр}$ называют предельным углом вращения орудия. В последнем случае на угол $\varphi_{пр}$ следует смотреть как на тот наибольший угол возвышения, при котором орудие из неустойчивого становится устойчивым.

Условие устойчивости при $\varphi_{пр}$ напишется так:

$$P_{кн} e + Rh_{пр} = Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi_{пр}. \qquad (40)$$

Величина $h_{пр}$ в этом выражении представляет плечо действия силы R относительно точки опоры сошника C при угле возвышения, равном $\varphi_{пр}$.

Найдем значение плеча $h_{пр}$ (рис. 191).

Здесь:

точка O представляет ось цапф орудия;

$H_ц$ — высота оси цапф над горизонтом основания;

$d_ц$ — расстояние по горизонту от оси цапф O до точки опоры сошника C;

линия AB — ось канала ствола;

„ CD — траектория центра тяжести откатных частей при откате;

„ OF — линия, проходящая через ось цапф O параллельно оси канала ствола;

h — плечо действия силы R относительно точки опоры сошника C;

ΔH — расстояние между точкой C и горизонтом основания.

Остальные величины понятны из рисунка.

Рассматривая рис. 191, можем написать:

$$h = mq - mn = mp + pq - mn. \qquad (41)$$

Но

$$mp = (H_ц + \Delta H)\cos\varphi;\ pq = d;\ mn = d_ц \sin\varphi.$$

Подставляя эти значения в равенство (41), получим:

$$h = (H_ц + \Delta H)\cos\varphi + d - d_ц \sin\varphi. \qquad (42)$$

Обозначим через H_0 высоту линии огня — расстояние между осью канала ствола при $\varphi = 0$ и горизонтом основания.

Из рис. 191 видно, что

$$H_0 = H_ц + d + e,$$

откуда

$$H_ц = H_0 - d - e$$

Значение $H_ц$ внесем в равенство (42), получим:

$$h = (H_0 - d - e + \Delta H)\cos\varphi + d - d_ц \sin\varphi, \tag{43}$$

или

$$h = (H_0 - e + \Delta H)\cos\varphi + d(1 - \cos\varphi) - d_ц \sin\varphi. \tag{44}$$

Имея в виду, что разность $1 - \cos\varphi$ при небольших значениях φ близка к нулю, и обозначая множитель при $\cos\varphi$ через H', т. е. полагая

$$H' = H_0 - e + \Delta H, \tag{45}$$

окончательно получим:

$$h = H' \cos\varphi - d_ц \sin\varphi. \tag{46}$$

Для угла возвышения $\varphi_{пр}$ соответствующее значение будет:

$$h_{пр} = H' \cos\varphi_{пр} - d_ц \sin\varphi_{пр}. \tag{47}$$

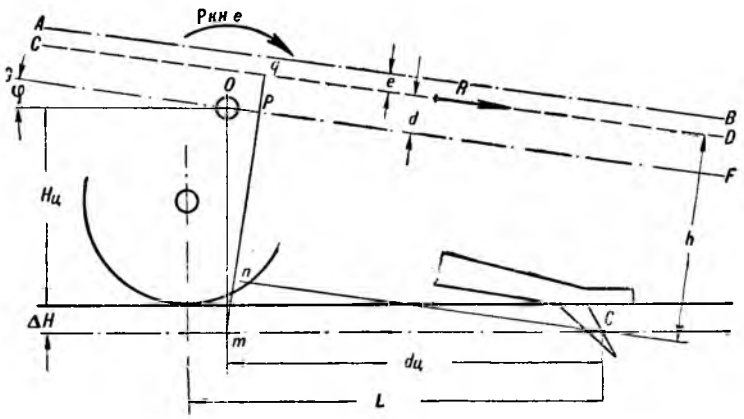


Рис. 191. Схема для определения плеча $h_{пр}$

Внесем полученное значение плеча $h_{пр}$ в условие устойчивости (40):

$$P_{кн}e + R\,(H'\cos\varphi_{пр} - d_ц \sin\varphi_{пр}) = Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi_{пр} \tag{48}$$

и после преобразования:

$$(RH' + Q_0 X)\cos\varphi_{пр} - Rd_ц \sin\varphi_{пр} = Q_б D_0 - P_{кн}e. \tag{49}$$

Для определения значения $\varphi_{пр}$ воспользуемся преобразованием, сходным с изложенным на стр. 302.

Окончательно получим:

$$\varphi_{пр} = \arccos \frac{Q_б D_0 - P_{кн}e}{\sqrt{(RH' + Q_0 X)^2 + (Rd_ц)^2}} - \operatorname{arc\,tg} \frac{Rd_ц}{RH' + Q_0 X}. \tag{50}$$

Рассматривая полученное выражение, можем сделать следующее заключение:

1) при прочих равных данных $\varphi_{пр}$ тем меньше, чем больше $Q_б$ и D_0 и чем меньше H', e и R;

2) $\varphi_{пр}$ уменьшается по мере отката.

Вес орудия в боевом положении $Q_б$ предусматривается обычно тактико-техническими требованиями на проектирование и, следовательно, от конструктора не зависит.

Величина D_0 может быть увеличена за счет удлинения станин, но последнее нежелательно, так как ведет к уменьшению поворотливости

орудия на походе и к увеличению общей длины лафетной повозки. Кроме того, при большой длине станин трудно будет уложиться в заданный вес $Q_б$.

Уменьшение силы сопротивления R ведет к увеличению длины отката, а это приводит к некоторым трудностям в разработке системы и к уменьшению скорострельности орудия.

Таким образом, уменьшение значения $\varphi_{пр}$ возможно главным образом за счет уменьшения величины H' (или, что то же, высоты линии огня H_0) или уменьшения плеча e.

Уменьшение высоты линии огня H_0 ведет к затруднениям в размещении механизмов и эксплоатации орудия и, кроме того, ограничивается требованием соблюдения определенного клиренса, или наименьшей высоты над горизонтом нижней точки лафета на походе.

Что касается динамического плеча e, то его величина целиком во власти конструктора, и путем соответствующего размещения масс откатных частей всегда возможно уменьшить значение этого параметра до приемлемого минимума и даже до нуля.

Угол $\varphi_{пр}$ составляет одну из важнейших характеристик колесного лафета и задается в тактико-технических требованиях на проектирование в соответствии с теми задачами, какие будет решать данное орудие в боевой обстановке.

Величина $\varphi_{пр}$ не должна превосходить: $5°$ — для пушек (для противотанковых пушек желательно иметь этот угол равным нулю); $12 — 15°$ — для гаубиц; $20 — 25°$ — для мортир.

ГЛАВА III

СВОБОДНЫЙ ОТКАТ

1. Общие соображения

Вопросу действия выстрела на откатные части орудия в теории лафетов уделяется первостепенное внимание, так как откат определяет режим работы основных частей лафета (противооткатных устройств, станка и т. д.).

Решение этого вопроса значительно упрощается предварительным рассмотрением так называемого свободного отката, т. е. отката без торможения. Зная законы свободного отката, можно без труда перейти к законам торможенного отката, т. е. к законам движения откатных частей в действительных условиях выстрела.

Движение откатных частей при свободном откате начнется одновременно с началом движения снаряда, т. е. в тот момент, когда давление пороховых газов достигнет величины p_0, называемой давлением форсирования, причем скорость движения откатных частей будет возрастать по мере продвижения снаряда по каналу.

После выхода ведущего пояска снаряда за дульный срез вырывающиеся пороховые газы в течение периода последействия будут оказывать реактивное действие на откатные части, сообщая им дополнительно ускорение. Вследствие этого скорость движения откатных частей будет возрастать, достигая некоторого максимума в момент конца периода последействия, когда давление газов в канале обратится практически в нуль.

В дальнейшем движение откатных частей будет совершаться по инерции с полученной постоянной максимальной скоростью свободного отката.

Теория лафетов рассматривает свободный откат только в период действия газов на орудие, который в свою очередь обычно разделяется на два периода:

1) период движения снаряда по каналу;
2) период последействия газов.

В первом периоде отката (период движения снаряда по каналу) движение будет происходить под действием равнодействующей $P_{кн}$, представляющей разность между силой давления газов на дно канала и силой сопротивления ведущего пояска снаряда, т. е.

$$P_{кн} = kPs - r, \tag{51}$$

где k — некоторый коэфициент;

P — давление газов в канале ствола в рассматриваемый момент;

s — площадь сечения канала с учетом нарезов;

r — сила сопротивления ведущего пояска снаряда.

Во втором периоде (период последействия газов) движение откатных частей будет происходить под действием полной силы давления газов на дно канала, так как после выхода ведущего пояска из канала ствола сила сопротивления r исчезает.

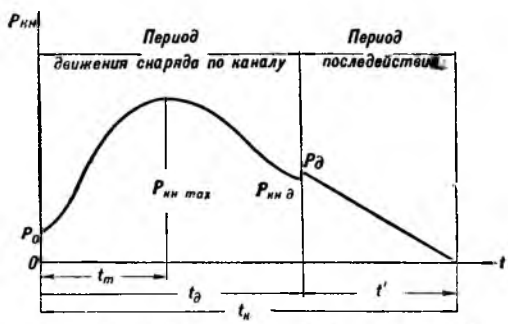


Рис. 192. График равнодействующей $P_{кн}$

График равнодействующей $P_{кн}$ за весь период действия газов на орудие представлен на рис. 192, где:

P_0 — сила форсирования;

$P_{кн\ max}$ — наибольшее значение равнодействующей силы $P_{кн}$;

$P_{кн.\,д}$ — значение силы $P_{кн}$ в момент выхода ведущего пояска из канала;

$P_д$ — значение силы $P_{кн}$ в ближайший момент после выхода пояска;

t_m, $t_д$ и $t_к$ — соответственно промежутки времени от начала движения снаряда до момента наибольшего давления газов, до момента вылета снаряда из канала и до конца последействия газов.

Уступ на кривой силы $P_{кн}$ в момент $t_д$ равняется разности

$$P_д - P_{кн.\,д} = r, \tag{52}$$

где r — сила сопротивления ведущего пояска в момент вылета снаряда из канала, принимаемая равной $0{,}02\,P_{кн.\,д}$, и следовательно,

$$P_д = 1{,}02\,P_{кн.\,д}. \tag{53}$$

При практических расчетах величину силы $P_{кн}$ в периоде последействия принимают изменяющейся по линейному закону в зависимости от времени t (закон Дурляхова-Валье):

$$P_{кн} = P_{д}\left(1 - \frac{t}{t'}\right), \tag{54}$$

где t — текущее время от момента вылета снаряда из канала;

t' — продолжительность периода последействия.

График зависимости (54) показан на рис. 193.

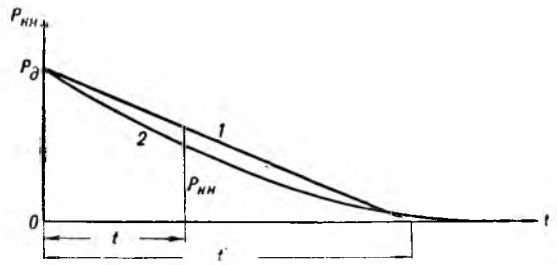


Рис. 193. График функции $P_{кн} = f(t)$ в период последействия:

1 — кривая силы $P_{кн}$ по закону Дурляхова-Валье; *2* — действительный вид кривой силы $P_{кн}$

2. Элементы движения откатных частей при свободном откате в течение первого периода

Диференциальное уравнение движения откатных частей при свободном откате можно написать в виде

$$\frac{Q_0}{g} L_t'' = P_{кн}, \tag{55}$$

где L — путь свободного отката.

Непосредственное интегрирование уравнения (55) невозможно, так как аналитический вид функции $P_{кн} = f(t)$ нам неизвестен.

Однако определить элементы свободного отката можно, применяя к системе: откатные части—снаряд—заряд, известный из механики закон сохранения количеств движения.

Так как до выстрела центр тяжести указанной системы находился в покое и по отношению к этой системе сила $P_{кн}$ является внутренней силой, то на основе упомянутого закона можно написать:

$$-M_0 W + mw + K = 0, \tag{56}$$

т. е. сумма количеств движения системы: откатные части—снаряд—заряд, для любого момента времени t в течение первого периода должна равняться нулю.

В уравнении (56) обозначено:

$M_0 = \frac{Q_0}{g}$ — масса откатных частей;

W — абсолютная скорость свободного отката;

m — масса снаряда, равная $\frac{q}{g}$;

w — абсолютная скорость снаряда;

K — количество движения продуктов горения и несгоревших частиц заряда в рассматриваемый момент t.

Величина K может быть принята равной

$$\mu \frac{w - W}{2}, \tag{57}$$

где $\mu = \frac{\omega}{g}$ — масса заряда.

Подставляя значение K в уравнение (56), после преобразований получим:

$$\left(M_0 + \frac{\mu}{2}\right) W = \left(m + \frac{\mu}{2}\right) w. \tag{58}$$

Отсюда находим зависимость между абсолютными скоростями W и w:

$$W = \frac{m + \frac{\mu}{2}}{M_0 + \frac{\mu}{2}} w. \tag{59}$$

Заменяя скорости W и w соответствующими производными по времени от абсолютных путей L и x откатных частей и снаряда и интегрируя в пределах от 0 до L и от 0 до x, получим зависимость между путями L и x:

$$L = \frac{m + \frac{\mu}{2}}{M_0 + \frac{\mu}{2}} x. \tag{60}$$

Желая непосредственно воспользоваться данными внутренней баллистики, которая дает относительные пути и скорости движения снаряда по каналу, необходимо формулы (59) и (60) соответствующим образом преобразовать, введя в них вместо абсолютной скорости снаряда w и его абсолютного пути x относительную скорость v и относительный путь l.

Воспользуемся для этой цели уравнениями механики, связывающими элементы движения тела в абсолютном и относительном движениях, применив эти уравнения по отношению к снаряду:

$$\left.\begin{aligned} v &= w + W \\ l &= x + L \end{aligned}\right\} \tag{61}$$

Решая совместно уравнения (59), (60) и (61), получим:

$$w = \frac{M_0 + \frac{\mu}{2}}{M_0 + m + \mu} v; \tag{62}$$

$$x = \frac{M_0 + \frac{\mu}{2}}{M_0 + m + \mu} l; \tag{63}$$

$$W = \frac{m + \frac{\mu}{2}}{M_0 + m + \mu} v; \tag{64}$$

$$L = \frac{m + \frac{\mu}{2}}{M_0 + m + \mu} l. \tag{65}$$

А так как массы пропорциональны весам, то:

$$W = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + 0{,}5\omega} w; \tag{66}$$

$$L = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + 0{,}5\omega} x; \tag{67}$$

$$w = \frac{Q_0 + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} v; \tag{68}$$

$$x = \frac{Q_0 + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} l; \tag{69}$$

$$W = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} v; \tag{70}$$

$$L = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} l. \tag{71}$$

Применяя уравнения (70) и (71) для момента, отвечающего максимальному давлению газов P_{max}, найдем:

$$W_m = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} v_m; \tag{72}$$

$$L_m = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} l_m. \tag{73}$$

Применяя уравнения (66) и (71) для момента вылета снаряда из канала, найдем:

$$W_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + 0{,}5\omega} v_0; \tag{74}$$

$$L_д = \frac{q + 0{,}5\omega}{Q_0 + q + \omega} l_д, \tag{75}$$

где v_m и l_m — относительная скорость и соответствующий путь снаряда в момент P_{max};

v_0 и $l_д$ — начальная скорость и полный путь снаряда по каналу;

W_m и L_m — скорость и путь откатных частей при свободном откате в момент P_{max};

$W_д$ и $L_д$ — скорость и путь откатных частей в момент вылета снаряда из канала.

Зная величины v_m, l_m, v_0 и $l_д$ из решения задачи внутренней баллистики (например, по таблицам АНИИ), можно определить по формулам (72), (73), (74) и (75) соответствующие элементы свободного отката в период движения снаряда по каналу.

3. Элементы движения откатных частей при свободном откате в течение второго периода (период последействия газов)

Принимая для данного периода зависимость силы $P_{кн}$ от времени t как линейную функцию вида

$$P_{кн} = P_д\left(1 - \frac{t}{t'}\right), \tag{54}$$

заменим истинный график функции $P_{кн} = f(t)$ прямой линией, как это показано на рис. 193.

При рассмотрении свободного отката в данном периоде нас интересует только один момент, а именно — момент конца периода последействия.

Как уже было сказано, в этот момент сила $P_{кн}$ обратится в нуль, а скорость откатных частей будет равна максимальной скорости W_{max} свободного отката.

На основе опытов для определения величины W_{max} получена эмпирическая формула

$$W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{Q_0} v_0, \tag{76}$$

где β — так называемый коэфициент последействия газов[1].

Для определения величины β существует ряд формул.

1. Французская формула:

$$\beta = \frac{1300}{v_0}. \tag{77}$$

2. Формула В. Е. Слухоцкого:

$$\beta = \frac{24{,}5\sqrt{P_д}}{v_0} \beta_{табл}, \tag{78}$$

где $P_д$ — дульное давление в $кг/см^2$;

$\beta_{табл}$ — табличное значение β, которое можно найти по таблице 59.

Таблица 59

Коэфициенты последействия $\beta_{табл}$

χ \ Δ	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
10,0	4,962	4,439	4,051	3,751	3,508	3,308	3,138	2,992	2,865	2,752	2,653	2,563	2,481
9,5	4,837	4,327	3,949	3,626	3,420	3,225	3,058	2,917	2,793	2,683	2,586	2,498	2,419
9,0	4,708	4,211	3,843	3,553	3,328	3,138	2,977	2,839	2,718	2,611	2,517	2,431	2,354
8,5	4,575	4,093	3,735	3,458	3,234	3,050	2,893	2,759	2,641	2,537	2,446	2,363	2,288
8,0	4,439	3,971	3,624	3,355	3,138	2,959	2,807	2,677	2,563	2,462	2,373	2,292	2,220
7,5	4,298	3,845	3,509	3,249	3,039	2,865	2,718	2,592	2,481	2,384	2,298	2,220	2,149
7,0	4,152	3,714	3,390	3,138	2,936	2,768	2,626	2,504	2,397	2,303	2,220	2,144	2,076
6,5	4,000	3,578	3,266	3,023	2,828	2,667	2,530	2,412	2,309	2,219	2,138	2,066	2,000
6,0	3,844	3,439	3,138	2,905	2,718	2,563	2,431	2,318	2,219	2,132	2,055	1,985	1,922
5,5	3,680	3,292	3,005	2,782	2,602	2,454	2,328	2,219	2,125	2,041	1,967	1,901	1,840
5,0	3,509	3,139	2,865	2,652	2,481	2,339	2,219	2,116	2,026	1,946	1,876	1,812	1,755
4,5	3,329	2,978	2,718	2,516	2,353	2,219	2,105	2,007	1,922	1,846	1,780	1,719	1,665
4,0	3,138	2,807	2,562	2,372	2,219	2,092	1,985	1,892	1,812	1,741	1,678	1,621	1,569
3,5	2,936	2,626	2,397	2,219	2,075	1,957	1,857	1,770	1,695	1,628	1,569	1,516	1,468

Способ пользования таблицей 59

1. Находим значения Δ и χ.

   Δ — плотность заряжания $\left(\Delta = \frac{\omega}{W_0}\right)$;

   χ — коэфициент расширения $\left(\chi = \frac{W}{W_0} = \frac{W_0 + sl_д}{W_0}\right)$.

2. По таблице 59 находим для вычисленных Δ и χ значение $\beta_{табл}$.

3. По формуле (78) определяем β.

---

[1] β представляет отношение средней скорости истечения газов $u_{ср}$ и начальной скорости снаряда, т. е. $\beta \approx \frac{u_{ср}}{v_0}$.

3. Формула А. А. Толочкова:

$$\beta = 0{,}5 + A\frac{\sqrt{P_д W_д}}{v_0}, \tag{79}$$

где

$$A = \frac{\sqrt{2k}}{(k+1)\sqrt{k-1}}; \tag{80}$$

$P_д$ — дульное давление (в *кг/м²*);

$W_д$ — удельный объем пороховых газов в момент вылета снаряда:

$$W_д = \frac{W_{кн}\, g}{\omega} \cdot \frac{м^4}{кг/сек^2}, \tag{81}$$

причем $W_{кн}$ — объем канала орудия, равный $W_0 + sl_д$;

$\frac{\omega}{g}$ — масса заряда $\left(\frac{кг\,сек^2}{м}\right)$;

k — показатель политропы, равный 1,2 — 1,4 (бóльшие значения k — для пушек крупного калибра, гаубиц и мортир, а меньшие — для пушек малого калибра).

Продолжительность второго периода (периода последействия) t' можно найти следующим образом.

Уравнение движения при свободном откате в этом периоде напишется так:

$$\frac{Q_0}{g} L''_t = P_{кн} = P_д\left(1 - \frac{t}{t'}\right), \tag{82}$$

или

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{dW}{dt} = P_д\left(1 - \frac{t}{t'}\right). \tag{83}$$

Переходя к дифференциалам и интегрируя в пределах от $W_д$ до W и от 0 до t, получим:

$$W - W_д = \frac{gP_д}{Q_0}\left(t - \frac{t^2}{2t'}\right), \tag{84}$$

что для момента конца периода последействия ($t = t'$) дает:

$$W_{max} - W_д = \frac{gP_д}{Q_0} \cdot \frac{t'}{2}. \tag{85}$$

Подставляя в уравнение (85) значение W_{max} из (76) и значение $W_д$ из (74)[1], после преобразований получим:

$$t' = \frac{2\omega(\beta - 0{,}5)v_0}{gP_д}. \tag{86}$$

Тогда полное время действия газов на орудие будет:

$$t_к = t_д + t', \tag{87}$$

где $t_д$ — время движения снаряда по каналу (полученное из решения задачи внутренней балистики).

Путь откатных частей к концу второго периода $L_к$ можно определить следующим образом.

Так как $W = \frac{dL}{dt}$, то, подставляя это значение W в уравнение (84), после очевидного преобразования получим:

$$dL = W_д\, dt + \frac{gP_д}{Q_0}\left(t - \frac{t^2}{2t'}\right) dt. \tag{88}$$

[1] В формуле (74) пренебрегаем величиной 0,5 ω в знаменателе.

Интегрируя это уравнение в пределах от $L_д$ до $L_к$ и от 0 до t', получим:

$$L_к = L_д + W_д t' + \frac{gP_д}{Q_0} \cdot \frac{t'^2}{3}. \qquad (89)$$

Итак, элементы свободного отката в момент конца периода последействия будут:

$$W_{max} = \frac{q + \beta\omega}{Q_0} v_0; \qquad (76)$$

$$L_к = L_д + W_д t' + \frac{gP_д}{Q_0} \cdot \frac{t'^2}{3}; \qquad (89)$$

$$t_к = t_д + t', \qquad (87)$$

причем

$$t' = \frac{2\omega(\beta - 0{,}5) v_0}{gP_д}. \qquad (86)$$

$W_д$ и $L_д$ определяются соответственно по формулам (74) и (75), а β — по одной из указанных выше формул.

4. Дульный тормоз. Его назначение, принцип действия и влияние на величину энергии отката

Одним из действительных средств уменьшения действия выстрела на лафет является дульный тормоз, изобретенный французским артиллеристом Трейль де-Болье в шестидесятых годах прошлого столетия.

В настоящее время встречаются три типа дульных тормозов:

1) активного действия;
2) реактивного действия;
3) активно-реактивного действия.

Схемы устройства дульных тормозов показаны на рис. 194, 195 и 196.

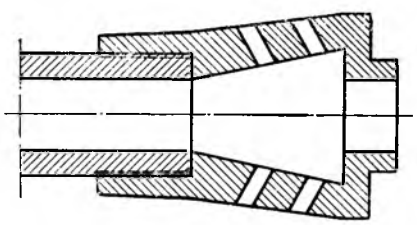


Рис. 194. Схема устройства дульного тормоза активного действия

Так как всякому типу дульного тормоза в той или иной мере присуще реактивное действие, то ограничимся здесь рассмотрением тормоза активно-реактивного типа (рис. 196).

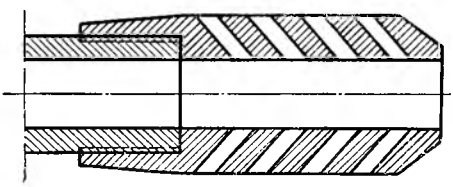


Рис. 195. Схема устройства дульного тормоза реактивного действия

Действие такого типа дульного тормоза заключается в том, что пороховые газы, вылетающие за снарядом, расширяясь в полости *1* тормоза, распределяются далее между боковыми каналами *2* и центральным отверстием *3* и вытекают в атмосферу. Вследствие истечения части газов через боковые каналы расход газов, вытекающих через центральное отверстие, соответственно уменьшается. Приблизительно пропорционально этому расходу уменьшается и осевая реакция газов, которая в обычных условиях (без дульного тормоза) оказывает значительное действие на орудие в период последействия, вызывая увеличение скорости отката.

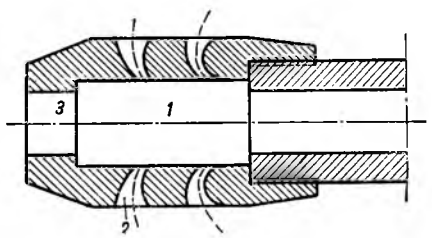


Рис. 196. Схема устройства дульного тормоза активно-реактивного действия

Так как боковые каналы изменяют направление движения пороховых газов, то на направляющих (передних) поверхностях этих каналов появляется еще реакция истекающих газов, направленная в сторону движения снаряда, что еще дополнительно вызывает уменьшение действия выстрела на лафет и уменьшение скорости отката.

Обозначим:

W_{max} — максимальная скорость свободного отката без дульного тормоза, отвечающая концу последействия ($t = t_к$).

$W_д$ — максимальная скорость отката в момент вылета снаряда из канала при наличии дульного тормоза ($t = t_д$).

$W'_{дт}$ — скорость отката при наличии дульного тормоза, отвечающая концу последействия ($t = t'_{дт}$).

В зависимости от системы дульного тормоза $t' > t'_{дт}$ или $t' < t'_{дт}$.

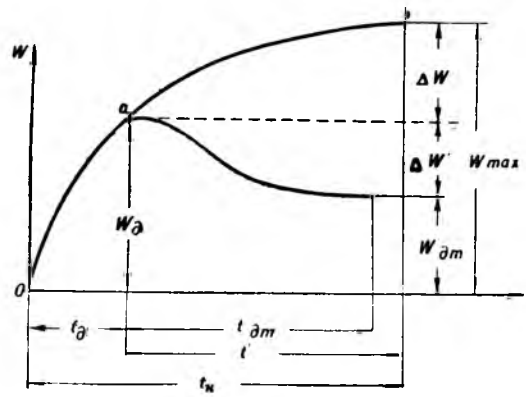


Рис. 197. График скоростей отката при наличии дульного тормоза и без него

Из рис. 197 видно, что за время последействия (t') откатные части при свободном откате приобретают приращение скорости ΔW, причем

$$\Delta W = W_{max} - W_д. \tag{90}$$

При наличии дульного тормоза максимальная скорость отката обычно достигается в момент вылета снаряда, а к концу периода последействия ($t'_{дт}$) вследствие действия тормоза откатные части теряют скорость на величину $\Delta W'$, причем

$$\Delta W' = W_д - W'_{дт}. \tag{91}$$

За меру полезного действия дульного тормоза следует принимать величину ζ, определяемую отношением

$$\zeta = \frac{W^2_{max} - W'^2_{дт}}{W^2_{max} - W^2_д}. \tag{92}$$

Обычно применяется другая величина, ξ, определяемая отношением

$$\xi = \frac{W^2_{max} - W'^2_{дт}}{W^2_{max}}. \tag{93}$$

Практически можно считать, что дульные тормоза поглощают до 25—30% энергии отката.

Зная величину ξ, можно определить значение скорости отката $W'_{дт}$ в момент конца последействия при наличии дульного тормоза, пользуясь формулой

$$W'_{дт} = \sqrt{1-\xi}\cdot W_{max}, \qquad (94)$$

которая легко получается из формулы (93). Затем далее можно определить соответствующее значение пути отката $L'_к$ к концу последействия при наличии дульного тормоза.

ГЛАВА IV

ТОРМОЖЕННЫЙ ОТКАТ

1. Общие соображения

При выстреле движение откатных частей в период действия пороховых газов на орудие происходит под действием равнодействующей $P_{кн}$ и силы сопротивления откату R, которая слагается из сил сопротивления: тормоза отката, накатника и трений на направляющих люльки и в уплотнительных приспособлениях противооткатных устройств (сальники, воротники).

После конца последействия газов движение откатных частей будет происходить только под действием силы сопротивления откату R. Это движение продолжается до тех пор, пока живая сила откатных частей, накопленная ими в период действия газов на орудие, не будет поглощена работой силы сопротивления откату R, или, иными словами, пока скорость отката не обратится в нуль.

Путь, пройденный откатными частями за весь период их движения, от начала отката до момента остановки, называется длиной отката и обозначается через λ.

В соответствии со сказанным выше, весь период торможенного отката делится для удобства исследования на два периода:

первый период — от начала отката, принимаемого совпадающим с началом движения снаряда, до конца периода последействия газов;

второй период — от конца первого периода до момента остановки откатных частей в конце отката.

Исследования показывают, что элементы движения снаряда по каналу практически не зависят от силы сопротивления откату R. В то же время на элементы движения откатных частей сила R оказывает немаловажное влияние, вследствие чего при определении скоростей и путей торможенного отката необходимо эту силу принимать во внимание.

Что же касается соотношения между силой R и максимальным значением силы $P_{кн}$, то в современных орудиях отношение $\frac{R}{P_{кн\ max}}$, как уже сказано раньше, составляет примерно $\frac{1}{40}-\frac{1}{30}$. Следовательно, современное орудие при выстреле находится в условиях, более близких к условиям свободного отката, нежели к условиям выстрела при абсолютно неподвижно закрепленном орудии ($R=\infty$).

2. Силы, действующие на откатные части при выстреле

При выстреле на откатные части действуют:

$P_{кн}$ — равнодействующая сила давления пороховых газов на дно канала и силы сопротивления ведущего пояска снаряда;

Q_0 — вес откатных частей;
Φ — сила сопротивления тормоза отката;
Π — сила сопротивления накатника;
N_1 и N_2 — нормальные реакции люльки на переднем и заднем захвате ствола;
$T = T_1 + T_2$ — силы трения на направляющих люльки;
F — сила трения в уплотнительных устройствах тормоза отката и накатника.

Присоединим сюда еще силу инерции откатных частей $\frac{Q_0}{g} X_t''$ и положим для общности, что центр тяжести откатных частей лежит ниже оси канала. Расположение сил и реакций показано на рис. 198.

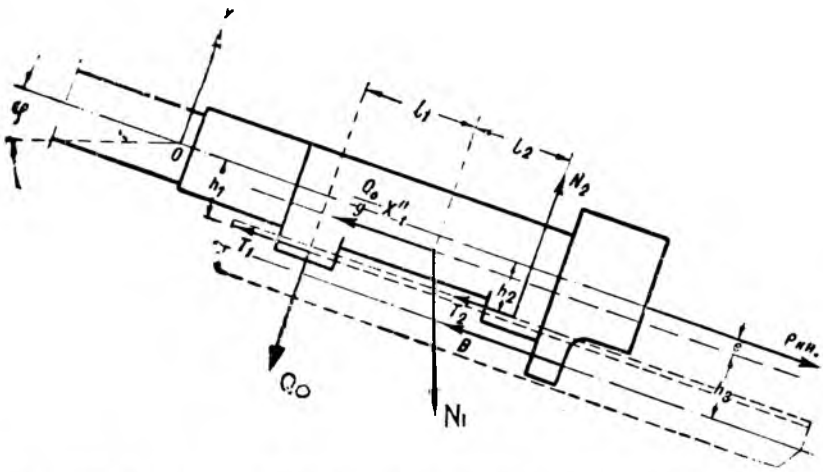


Рис. 198. Схема сил, действующих на откатные части во время отката

Сумму сил Φ, Π и F обозначим через B. Плечи действия сил и реакций относительно центра тяжести откатных частей, а также направления координатных осей видны на рисунке.

Предположим, что под действием указанной совокупности сил откат ствола происходит только поступательно.

Тогда для случая стрельбы под углом возвышения $\varphi > 0$ дифференциальное уравнение движения откатных частей вдоль оси OX можно написать так:

$$\frac{Q_0}{g} X_t'' = P_{кн} - \Phi - \Pi - F - T + Q_0 \sin \varphi, \tag{95}$$

где X — величина отката в рассматриваемый момент;
$Q_0 \sin \varphi$ — слагающая веса откатных частей на направление отката.

Обозначая равнодействующую всех сил правой части уравнения (95), за исключением силы $P_{кн}$, через R, т. е. полагая

$$R = \Phi + \Pi + F + T - Q_0 \sin \varphi, \tag{96}$$

уравнение (95) можно переписать так:

$$\frac{Q_0}{g} X_t'' = P_{кн} - R. \tag{97}$$

Полученная зависимость называется уравнением торможенного отката.

Равнодействующая R, величина которой определяется уравнением (96), есть приведенная сила сопротивления откату, или просто сила сопротивления откату.

Далее, сумма проекций всех сил на ось OY будет:

$$N_2 - N_1 - Q_0 \cos \varphi = 0, \tag{98}$$

а сумма моментов всех сил относительно центра тяжести откатных частей

$$P_{кн} e + B h_3 - N_1 l_1 - N_2 l_2 + T_1 h_1 + T_2 h_2 = 0. \tag{99}$$

Имея в виду, что

$$T_1 = f N_1 \text{ и } T_2 = f N_2, \tag{100}$$

где f — коэфициент трения на направляющих люльки, и решая уравнения (98) и (99) совместно, найдем реакции N_1 и N_2:

$$N_1 = \frac{P_{кн} e + B h_3 - Q_0 \cos \varphi (l_2 - f h_2)}{l_1 + l_2 - f (h_1 + h_2)}; \tag{101}$$

$$N_2 = \frac{P_{кн} e + B h_3 + Q_0 \cos \varphi (l_1 - f h_1)}{l_1 + l_2 - f (h_1 + h_2)}. \tag{102}$$

Зная величины N_1 и N_2, можно определить величину силы трения $T = f (N_1 + N_2)$.

Выражения (101) и (102) применяются для расчета прочности захватов и направляющих люльки.

Как указывалось, в современных нарезных орудиях под действием реакции ведущего пояска снаряда, в плоскости, перпендикулярной оси канала ствола, возникает момент $M_{вр}$. Этот момент вызывает на направляющих люльки дополнительные реакции N'_1 и N'_2, действующие на откатные части.

На определении этих величин ввиду их незначительности останавливаться не будем.

3. Сила сопротивления откату R

Как уже сказано в предыдущем параграфе, величина этой силы определяется выражением

$$R = \Phi + \Pi + F + T - Q_0 \sin \varphi. \tag{96}$$

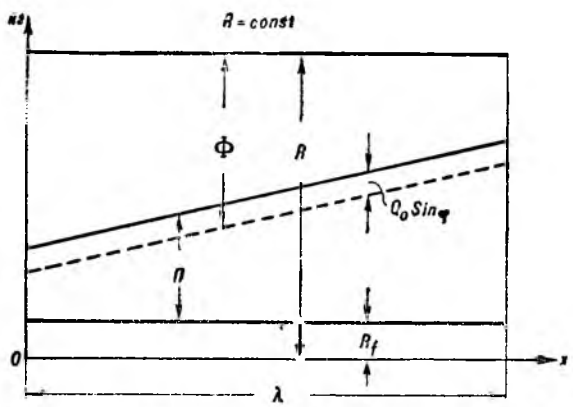


Рис. 199. Диаграмма силы R как постоянной силы

Если обозначить сумму сил трения F и T через R_f, т. е. положить

$$R_f = F + T, \tag{103}$$

то выражение для силы R примет вид:

$$R = \Phi + \Pi + R_f - Q_0 \sin \varphi. \tag{104}$$

В дальнейшем будет доказано, что для обеспечения устойчивости орудия на колесном лафете при выстреле необходимо, чтобы величина силы R изменялась по линейному закону в зависимости от пути отката X.

В стационарных установках и при расчете короткого отката в орудиях на колесном лафете (с переменным откатом) величину силы R можно принимать постоянной на всей длине отката, что выгодно с точки зрения напряжений, получающихся в деталях лафета при выстреле.

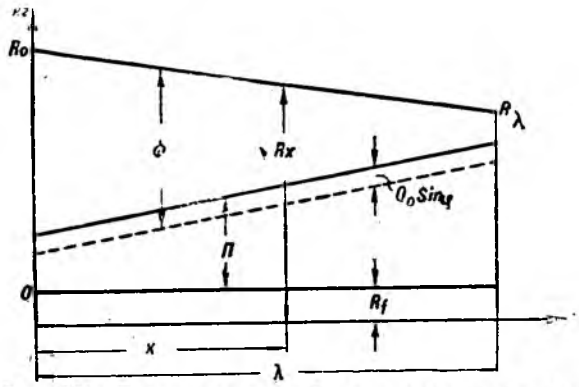


Рис. 200. Диаграмма силы R как переменной силы

Диаграммы силы R для обоих указанных случаев представлены на рис. 199 и 200, причем сила накатника П принята как линейная функция X, а сила R_f — постоянной.

4. Определение элементов торможенного отката

Возьмем уравнение торможенного отката:

$$\frac{Q_0}{g} X''_t = P_{кн} - R. \tag{97}$$

Имея в виду, что $X''_t = \frac{dV}{dt}$ и $V = \frac{dX}{dt}$ (где V — скорость торможенного отката, а X — величина пути торможенного отката), и интегрируя два раза уравнение (97) в пределах от 0 до t и соответственно от 0 до V и от 0 до X, получим:

$$V = \frac{g}{Q_0}\int_0^t P_{кн}\,dt - \frac{g}{Q_0}\int_0^t R\,dt; \tag{105}$$

$$X = \frac{g}{Q_0}\int_0^t dt \int_0^t P_{кн}\,dt - \frac{g}{Q_0}\int_0^t dt \int_0^t R\,dt. \tag{106}$$

Так как сила $P_{кн}$ не зависит от силы R, то полученные выражения (105) и (106) справедливы и для частного случая, когда сила $R = 0$, т. е. для случая свободного отката.

Пользуясь обозначениями, принятыми в теории свободного отката, можно написать:

$$W = \frac{g}{Q_0}\int_0^t P_{кн}\,dt; \tag{107}$$

$$L = \frac{g}{Q_0}\int_0^t dt \int_0^t P_{кн}\,dt, \tag{108}$$

где W и L — скорость и путь свободного отката в момент времени t.

Подставляя выражения (107) и (108) в уравнения (105) и (106), получим:

$$V = W - \frac{g}{Q_0}\int_0^t R\,dt; \tag{109}$$

$$X = L - \frac{g}{Q_0}\int_0^t dt \int_0^t R\,dt, \tag{110}$$

где V и X — скорость и путь торможенного отката в момент времени t.

Выражения (109) и (110) носят название формул перехода от элементов свободного отката (W, L) к элементам торможенного отката (V, X) и имеют важное значение при практическом применении.

5. Торможение отката силой $R = \text{const}$

Первый период отката. В данном случае интегрирование уравнений (109) и (110) не представляет никаких затруднений, так как сила R постоянна.

Выполнив интегрирование, получим:

$$V = W - \frac{g}{Q_0} Rt; \tag{111}$$

$$X = L - \frac{g}{Q_0} R \frac{t^2}{2}, \tag{112}$$

откуда: 1) для момента P_{max} ($t = t_m$):

$$V_m = W_m - \frac{g}{Q_0} Rt_m; \tag{113}$$

$$X_m = L_m - \frac{g}{Q_0} R \frac{t_m^2}{2}; \tag{114}$$

2) для момента вылета снаряда из канала ствола ($t = t_д$):

$$V_д = W_д - \frac{g}{Q_0} Rt_д; \tag{115}$$

$$X_д = L_д - \frac{g}{Q_0} R \frac{t_д^2}{2}; \tag{116}$$

3) для момента конца последействия газов ($t = t_к$):

$$V_к = W_{max} - \frac{g}{Q_0} Rt_к; \tag{117}$$

$$X_к = L_к - \frac{g}{Q_0} R \frac{t_к^2}{2}. \tag{118}$$

Если построить диаграмму сил, действующих на откатные части при торможении постоянной силой R (рис. 201), то нетрудно убедиться, что максимальная скорость отката будет достигнута в некоторый момент θ_1 периода последействия, когда сила $P_{кн}$ будет равна силе торможения R.

Действительно, для этого момента уравнение (97) примет вид:

$$\frac{Q_0}{g} X_t'' = P_{кн} - R = 0, \tag{119}$$

или

$$X_t'' = \frac{dV}{dt} = 0.$$

А это есть в данном случае условие максимума скорости.

Для определения величины наибольшей скорости отката V_{max} поступим следующим образом.

Из диаграммы (рис. 201) следует, что

$$\frac{\theta_1}{t'} = \frac{P_д - R}{P_д},$$

откуда

$$\theta_1 = \frac{P_д - R}{P_д} t', \tag{120}$$

где $P_д$ и t' определяются соответственно по формулам (53) и (86).

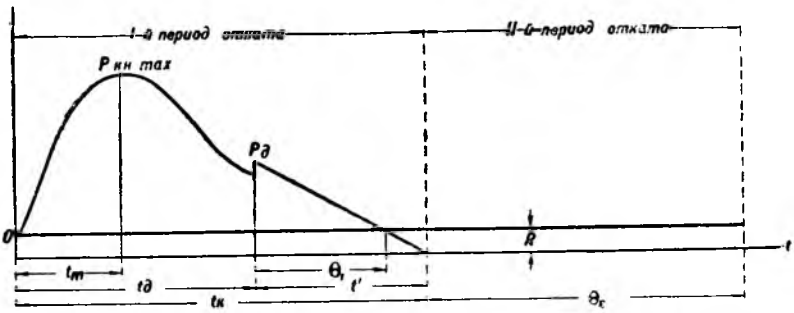


Рис. 201. Диаграмма сил, действующих на откатные части при торможении силой R = const

Так как закон изменения силы $P_{кн}$ в периоде последействия принимаем линейный [см. формулу (54)], то диференциальное уравнение движения в этом периоде напишется так:

$$\frac{Q_0}{g} X_t'' = P_д \left(1 - \frac{t}{t'}\right) - R, \tag{121}$$

откуда

$$dV = \frac{gP_д}{Q_0}\left(1 - \frac{t}{t'}\right)dt - \frac{g}{Q_0} R\, dt. \tag{122}$$

Интегрируя это уравнение в пределах от $V_д$ до V и от 0 до t, получим:

$$V = V_д + \frac{gP_д}{Q_0}\left(t - \frac{t^2}{2t'}\right) - \frac{g}{Q_0} Rt. \tag{123}$$

Подставляя в уравнение (123) значение $t = \theta_1$, получим:

$$V_{max} = V_д + \frac{gP_д}{Q_0}\left(\theta_1 - \frac{\theta_1^2}{2t'}\right) - \frac{g}{Q_0} R\theta_1. \tag{124}$$

Так как на основании выражения (120):

$$t' = \frac{P_д}{P_д - R}\theta_1, \tag{125}$$

то, исключая t' из выражения (124), после очевидных преобразований окончательно находим:

$$V_{max} = V_д + \frac{g\theta_1}{Q_0} \cdot \frac{P_д - R}{2}. \tag{126}$$

Для определения пути отката X_R, отвечающего моменту наибольшей скорости отката V_{max}, представим уравнение (123) в диференциальной форме и после преобразования будем иметь:

$$dX = V_\partial dt + \frac{gP_\partial}{Q_0}\left(t - \frac{t^2}{2t'}\right)dt - \frac{g}{Q_0}Rt\,dt. \tag{127}$$

Интегрируя это уравнение в пределах от X_∂ до X и от 0 до t, получим:

$$X = X_\partial + V_\partial t + \frac{gP_\partial}{Q_0}\left(\frac{t^2}{2} - \frac{t^3}{6t'}\right) - \frac{gR}{Q_0}\cdot\frac{t^2}{2}. \tag{128}$$

Для момента $t = \theta_1$ получим:

$$X_R = X_\partial + V_\partial\theta_1 + \frac{gP_\partial}{Q_0}\left(\frac{\theta_1^2}{2} - \frac{\theta_1^3}{6t'}\right) - \frac{gR}{Q_0}\cdot\frac{\theta_1^2}{2}. \tag{129}$$

Исключая отсюда t' через уравнение (125), после преобразований окончательно находим:

$$X_R = X_\partial + V_\partial\theta_1 + \frac{g\theta_1^2}{3Q_0}(P_\partial - R). \tag{130}$$

Формулы (126) и (130) служат для определения наибольшей скорости отката V_{max} и соответствующего ей пути отката X_R.

Второй период отката. После конца первого периода движение откатных частей будет продолжаться по инерции до тех пор, пока живая сила, приобретенная ими во время первого периода, не будет поглощена работой силы торможения R.

Так как в рассматриваемом нами случае сила R постоянна, то движение откатных частей во втором периоде будет равномерно замедленным.

Уравнение движения во втором периоде напишется так:

$$\frac{Q_0}{g}X_t'' = -R. \tag{131}$$

Интегрируя его два раза в пределах: от 0 до t, от $V_к$ до V и от $X_к$ до X, получим:

$$V = V_к - \frac{gR}{Q_0}t; \tag{132}$$

$$X = X_к + V_к t - \frac{gR}{Q_0}\cdot\frac{t^2}{2}. \tag{133}$$

Если обозначим продолжительность второго периода через θ_2, то для конца отката ($t = \theta_2$) будем иметь:

$$V_\lambda = 0 = V_к - \frac{gR}{Q_0}\theta_2; \tag{134}$$

$$X_\lambda = \lambda = X_к + V_к\theta_2 - \frac{gR}{Q_0}\cdot\frac{\theta_2^2}{2}. \tag{135}$$

Из уравнения (134) находим продолжительность второго периода:

$$\theta_2 = \frac{Q_0 V_к}{gR}. \tag{136}$$

После этого найдем полное время отката $t_{от}$:

$$t_{от} = t_к + \theta_2. \tag{137}$$

Формулы

$$V_к - \frac{gR}{Q_0}\theta_2 = 0; \tag{134}$$

$$\lambda = X_к + V_к\theta_2 - \frac{gR}{2Q_0}\theta_2^2 \tag{135}$$

служат поверочными формулами при расчете отката, торможенного постоянной силой сопротивления R.

При расчете тормоза отката потребуется величина квадрата скорости отката во втором периоде в зависимости от пути отката X. Найдем эту величину.

Положим, что откатные части прошли от начала отката путь X и скорость их в этот момент V (рис. 202).

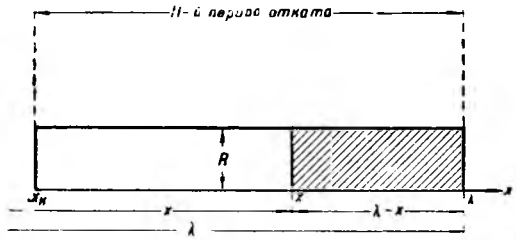


Рис. 202. Схема к вопросу об определении v^2 при $R = \text{const}$

Тогда живая сила, какой они обладают, будет определяться выражением

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{V^2}{2}.$$

Эта живая сила должна быть поглощена (на участке пути отката, равном $\lambda - X$) работой силы сопротивления R. Следовательно,

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{V^2}{2} = R(\lambda - X),$$

откуда

$$V^2 = \frac{2gR}{Q_0}(\lambda - X). \qquad (138)$$

Значение величины V^2 во втором периоде определяется обычно через каждые 50—100 *мм* длины отката.

6. Определение величины постоянной силы сопротивления R, действующей на всей длине отката (формула Валье)

Как уже сказано, постоянная сила сопротивления откату R применяется при расчете отката стационарных установок и при расчете короткого отката в орудиях на колесном лафете с переменной длиной отката, т. е. в тех случаях, когда устойчивость орудия при выстреле предполагается вполне обеспеченной.

Длиной отката λ обычно задаются и, исходя из этого, определяют величину постоянной силы R, необходимой для поглощения энергии отката. При этом пользуются формулой Валье.

Найдем ее. В конце первого периода энергия отката равна:

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{V_к^2}{2}.$$

Для поглощения ее на оставшемся участке пути отката $\lambda - X_к$ потребуется работа постоянной силы R, равная

$$R(\lambda - X_к);$$

тогда

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{V_к^2}{2} = R(\lambda - X_к).$$

Подставляя сюда значения $V_к$ и $X_к$ из формул (117) и (118) и решая уравнение относительно R, после преобразований получим формулу Валье для определения постоянной силы сопротивления откату R:

$$R = \frac{\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{W_{max}^2}{2}}{\lambda - L_к + W_{max} t_к}. \qquad (139)$$

7. Торможение отката переменной силой сопротивления R

Возьмем уравнение (40), выражающее условие устойчивости орудия на колесном лафете во время выстрела под углом возвышения $\varphi_{пр}$:

$$P_{кн} e + R h_{пр} = Q_б D_0 - Q_0 X \cos \varphi_{пр}.$$

Решая это уравнение относительно R, получим:

$$R = \frac{Q_б D_0 - Q_0 X \cos \varphi_{пр}}{h_{пр}} - \frac{P_{кн} e}{h_{пр}}. \qquad (140)$$

В том случае, когда плечо динамической пары $e = 0$, будем иметь:

$$R_{пр} = \frac{Q_б D_0 - Q_0 X \cos \varphi_{пр}}{h_{пр}}. \qquad (141)$$

Величина силы сопротивления R, определяемая из уравнения (141), называется предельным сопротивлением откату и обозначается через $R_{пр}$.

На величину $R_{пр}$ надо смотреть как на максимально возможную силу сопротивления R, какую можно допустить в данном случае, исходя из условия устойчивости при стрельбе под углом $\varphi_{пр}$.

Как видно из уравнения (141), величина $R_{пр}$ представляет линейную функцию пути отката X, убывающую по мере увеличения X*.

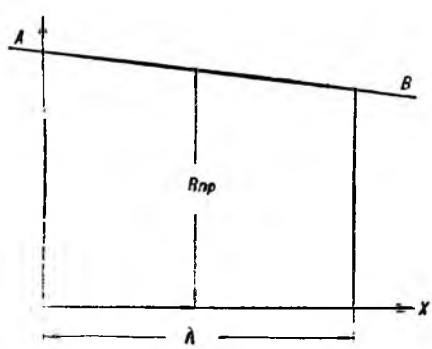


Рис. 203. График силы $R_{пр}$ как функции X

График уравнения (141) представлен на рис. 203 в виде прямой AB, которую называют предельной прямой устойчивости.

Очевидно, что для обеспечения устойчивости орудия во время выстрела, с целью получения некоторого запаса устойчивости, силу сопротивления откату R следует брать несколько меньшей, чем $R_{пр}$.

Обычно принимают $R = 0{,}9\ R_{пр}$, и тогда значение силы R будет определяться из уравнения

$$R = 0{,}9 \frac{Q_б D_0 - Q_0 X \cos \varphi_{пр}}{h_{пр}}, \qquad (142)$$

когда $e = 0$, и

$$R = 0{,}9 \frac{Q_б D_0 - Q_0 X \cos \varphi_{пр}}{h_{пр}} - \frac{P_{кн} e}{h_{пр}}, \qquad (143)$$

когда $e > 0$.

---

* $R_{пр} = \frac{Q_б D_0}{h_{пр}} - \frac{Q \cos \varphi_{пр}}{h_{пр}} X$ или $R_{пр} = a - bX$, где a и b — постоянные, значение которых очевидно.

Понятно, что длина отката λ при торможении отката с запасом устойчивости получится больше той, какая была бы достаточна для поглощения той же живой силы отката при торможении силой $R = R_{пр}$.

Исходя из этого, на графиках рис. 204 и 205 длина отката λ выбрана так, что площади $R_0 R_{0\,пр} R_{\lambda\,пр} R_\lambda$ и $R_\lambda R_{\lambda_1} \lambda_1 \lambda$ в первом случае ($e = 0$) и $R_0 R_{0пр} R_{\lambda\,пр} R_\lambda R_к R_m$ и $R_\lambda R_{\lambda_1} \lambda_1 \lambda$ во втором случае ($e > 0$) равновелики.

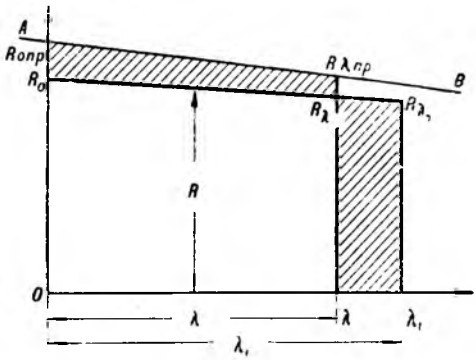


Рис. 204. График силы R при $e = 0$

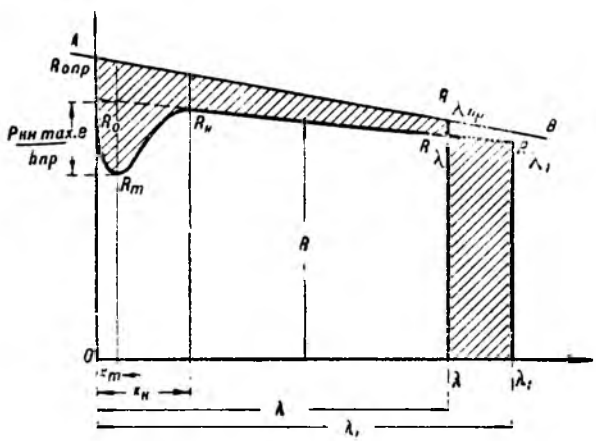


Рис. 205. График силы R при $e > 0$

Для упрощения вычислений элементов торможенного отката в первом периоде в том случае, когда $e = 0$, величину силы сопротивления R принимают постоянной и равной расчетному значению силы R, определенной из уравнения (142) для момента конца первого периода, т. е. полагают

$$R = R_к = 0{,}9\frac{Q_б D_0 - Q_0 X_к \cos \varphi_{пр}}{h_{пр}}. \qquad (144)$$

Вместо величины $X_к$ [которая при определении R по уравнению (144) является еще величиной неизвестной] принимают значение $L_к$ из расчета элементов свободного отката (для практических целей этого вполне достаточно).

Тогда величина постоянной силы R в первом периоде при $e = 0$ окончательно будет определяться уравнением

$$R = R_к = 0{,}9\frac{Q_б D_0 - Q_0 L_к \cos \varphi_{пр}}{h_{пр}}. \qquad (145)$$

Что же касается величины силы R во втором периоде отката, то она и в этом случае будет подчиняться уравнению (142). Тогда график силы R для всего периода отката примет вид, указанный на рис. 206.

Для упрощения вычислений элементов торможенного отката в первом периоде отката, в том случае, когда $e>0$, величину силы сопротивления R принимают возрастающей по линейному закону в функции от времени t, определяемому уравнением

$$R = R_0 + \frac{R_к - R_0}{t_к} t, \quad (146)$$

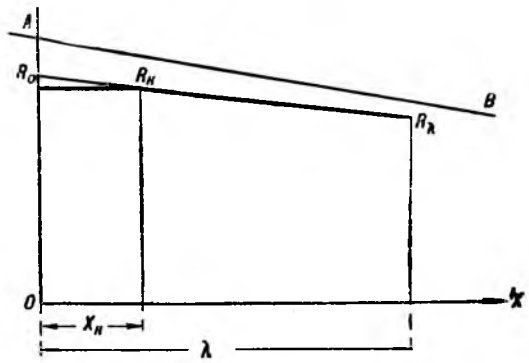


Рис. 206. График силы R при $e=0$ при торможении силой $R_к$ в первом периоде

где R_0 — начальное сопротивление откату;

$R_к$ — сопротивление откату в конце первого периода, причем

$$R_0 = (1{,}5 \div 2)\, Q_0;$$

$$R_к = 0{,}9\, \frac{Q_б D_0 - Q_0 L_к \cos \varphi_{пр}}{h_{пр}}. \quad (145)$$

График силы $P_{кн}$ и силы R по уравнению (146) представлен на рис. 207.

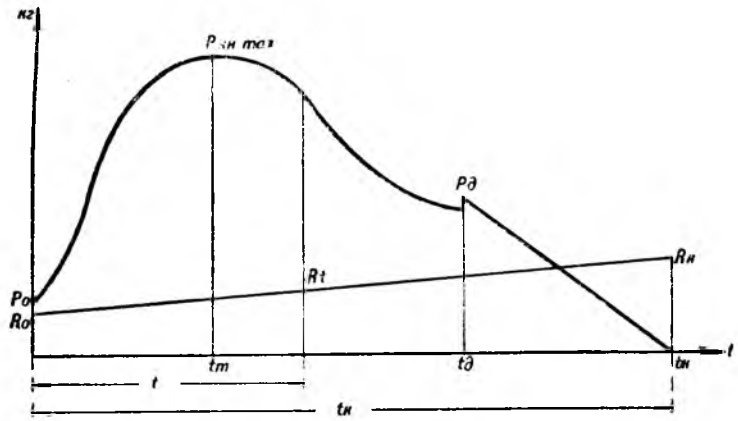


Рис. 207. График силы R как линейной функции от времени t в первом периоде

При расчете элементов торможенного отката в первом периоде в случае применения закона изменения силы R согласно уравнению (146), естественно, что формулы, определяющие величины этих элементов, будут иметь более сложный вид, нежели в том случае, когда сила R постоянна. Здесь их приводить не будем.

Что касается закона изменения силы во втором периоде отката при $e>0$, то он попрежнему будет определяться уравнением (142). Тогда график силы R для всего периода отката можно представить так, как показано на рис. 208.

Следует обратить внимание на то, что график силы R **в первом периоде отката** на рис. 208 представлен в виде кривой $R_0R_к$.

Это объясняется тем, что на данном графике сила R дана как функция X, в то время как на графике рис. 207 она представлена как функция t.

В целях обеспечения устойчивости орудия во время выстрела, при принятом законе изменения силы R, необходимо убедиться в том, что значение этой силы R_m для момента, отвечающего максимальному давлению газов P_{max}, полученное из уравнения (146):

$$R_m = R_0 + \frac{R_к - R_0}{t_к} t_m,$$

было бы меньше, чем значение R_m, определенное для того же из уравнения (143):

$$R_m = 0{,}9R_{пр.\,m} - \frac{P_{кн\ max}\, e}{h_{пр}}. \qquad (148)$$

В противном случае необходимо путем перераспределения масс откатных частей добиться уменьшения плеча e.

Величину предельного значения плеча $e = e_{пр}$, допускаемого условием устойчивости, можно найти следующим образом.

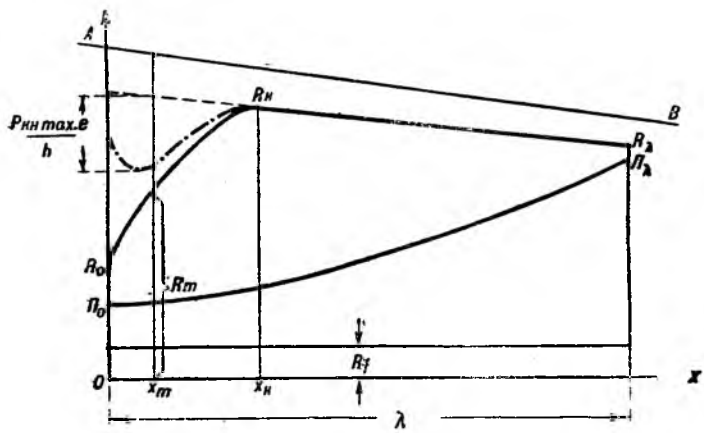


Рис. 208. График силы R при $e > 0$ на всем пути ската

Из уравнения (148)

$$R_m = 0{,}9R_{пр.\,m} - \frac{P_{кн\ max}\, e_{пр}}{h_{пр}} = 0{,}9\,\frac{Q_6D_0 - Q_0X_m\cos\varphi_{пр}}{h_{пр}} - \frac{P_{кн\ max}\, e_{пр}}{h_{пр}}$$

или, пренебрегая значением члена $Q_0X_m\cos\varphi_{пр}$:

$$R_m = \frac{0{,}9Q_6D_0 - P_{кн\ max}\, e_{пр}}{h_{пр}}, \qquad (149)$$

откуда

$$e_{пр} = \frac{0{,}9\,Q_6D_0 - R_m h_{пр}}{P_{кн\ max}}. \qquad (150)$$

Величина R_m в уравнении (150) должна быть определена из уравнения (148).

Принятое в расчетах значение плеча e должно удовлетворять условию:

$$e < e_{пр}.$$

8. Определение длины отката λ при торможении отката переменной силой сопротивления R

Энергия отката в момент конца первого периода будет определяться из выражения

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{V_к^2}{2}.$$

Эта энергия должна поглощаться работой переменной силы сопротивления R, изменяющейся по уравнению (142) на оставшемся пути отката: $\lambda - X_к$.

Иными словами, должно осуществляться условие

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{V_к^2}{2} = \int_{X_к}^{\lambda} R\, dX, \tag{151}$$

где R принимаем равным 0,9 $R_{пр}$, или

$$R = 0{,}9\,\frac{Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi_{пр}}{h_{пр}}. \tag{142}$$

Тогда

$$\frac{Q_0}{g} \cdot \frac{V_к^2}{2} = \frac{0{,}9}{h_{пр}} \int_{X_к}^{\lambda} (Q_б D_0 - Q_0 X \cos\varphi_{пр})\, dX, \tag{152}$$

откуда после интегрирования и преобразований получим:

$$Q_0 \cos\varphi_{пр}\lambda^2 - 2Q_б D_0 \lambda + 1{,}11 h_{пр}\frac{Q_0}{g} V_к^2 + 2Q_б D_0 X_к - Q_0 \cos\varphi_{пр} X_к^2 = 0.$$

Обозначая

$$A = Q_0 \cos\varphi_{пр}, \tag{153}$$

$$B = 2Q_б D_0, \tag{154}$$

$$C = 1{,}11\, h_{пр}\frac{Q_0}{g} V_к^2 + 2Q_б D_0 X_к - Q_0 \cos\varphi_{пр} X_к^2, \tag{155}$$

получим уравнение:

$$A\lambda^2 - B\lambda + C = 0, \tag{156}$$

откуда

$$\lambda = \frac{B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}. \tag{157}$$

Для получения реального значения λ перед радикалом удерживаем знак минус.

9. Определение квадрата скорости отката во втором периоде и продолжительности отката

Величина силы R во втором периоде может быть представлена уравнением

$$R = R_\lambda + \frac{R_к - R_\lambda}{\lambda - X_к}(X - X_к), \tag{158}$$

где

$$R_\lambda = 0{,}9\,\frac{Q_б D_0 - Q_0 \lambda \cos\varphi_{пр}}{h_{пр}}. \tag{159}$$

Применяя те же рассуждения, как и в § 5, можно написать (рис. 209):

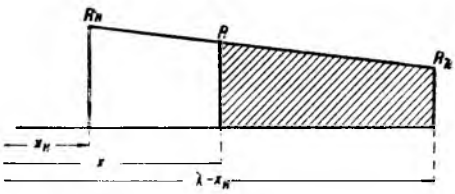


Рис. 209. Схема к вопросу определения V^2 при торможении переменной силой R

$$\frac{Q_0}{g}\cdot\frac{V^2}{2}=\frac{R+R_\lambda}{2}(\lambda-X), \qquad (160)$$

откуда

$$V^2=\frac{g(R+R_\lambda)(\lambda-X)}{Q_0}. \qquad (161)$$

После того как подсчитано значение R по уравнению (158) для различных значений длины отката X (через каждые 50—100 *мм*), пользуясь уравнением (161), можно определить и соответствующие величины квадрата скорости отката во втором периоде.

Для определения приближенного значения продолжительности второго периода θ_2 заменим переменное значение силы сопротивления R средним ее значением, равным

$$R_{ср}=\frac{R_к+R_\lambda}{2},$$

и будем считать, что эта сила действует в течение времени θ_2.

Тогда, на основании уравнения количества движения, можем написать:

$$R_{ср}\theta_2=\frac{Q_0}{g}V_к,$$

откуда находим:

$$\theta_2=\frac{Q_0}{g}\cdot\frac{V_к}{R_{ср}}. \qquad (162)$$

После этого полное время отката $t_{от}$ найдется по уравнению

$$t_{от}=t_к+\theta_2. \qquad (163)$$

ГЛАВА V

ПРОТИВООТКАТНЫЕ УСТРОЙСТВА

1. Назначение противооткатных устройств и требования, к ним предъявляемые

Противооткатные устройства назначаются для поглощения живой силы отката, приобретенной откатными частями при выстреле, для последующего их накатывания в исходное положение (до выстрела) и для надежного удержания их в этом положении в промежутках между выстрелами и на походе.

Противооткатные устройства состоят из гидравлического тормоза отката, накатника и тормоза наката (модератора).

Независимо от своей конструкции, противооткатные устройства должны удовлетворять следующим общим требованиям:

1. Действие их должно быть автоматическим и безотказным.

2. Энергия отката должна поглощаться полностью во время отката. Последующий накат должен происходить плавно и достаточно быстро при всех условиях стрельбы.

3. При определенных условиях стрельбы действие должно быть однообразным.

4. Действие противооткатных устройств не должно вызывать высоких напряжений в деталях лафета.

5. Они должны допускать искусственный откат (откат без выстрела), простую регулировку и быструю смену поврежденных деталей.

6. Они должны иметь указатель отката.

Кроме этого, к противооткатным устройствам предъявляются еще и частные требования:

1. В орудиях на колесных лафетах сопротивление противооткатных устройств должно удовлетворять условиям устойчивости орудия как во время отката, так и во время наката.

2. В орудиях, возимых на походе раздельно или с оттягиванием ствола, противооткатные устройства должны иметь механизм взаимозамкнутости с затвором, т. е. не должны допускать производства выстрела при их ненадежном соединении со стволом.

2. Накатники, их назначение, классификация и схемы устройства

Накатник предназначается для накатывания ствола в исходное положение (до выстрела) и надежного удержания его в этом положении в промежутках между выстрелами и на походе.

Во время отката накатник участвует в торможении откатывающихся частей, поглощая некоторую часть энергии отдачи, которую и использует при накате ствола.

Сила накатника, необходимая для надежного удержания ствола в положении до выстрела, получается за счет так называемого предварительного поджатия.

Накатники современных артиллерийских орудий делятся на два основных типа: пружинные накатники и воздушные, или пневматические.

Таблица 60

Классификация накатников

Пружинные накатники			Пневматические накатники		
			гидропневматические		пневматические
с обыкновенными цилиндрическими пружинами	с телескопическими пружинами	с пружинами Бельвилля	с непосредственным соприкосновением воздуха и жидкости	с плавающим поршнем	

а) Накатник пружинного типа (рис. 210) состоит из одной или нескольких пружин, расположенных обычно на цилиндре тормоза отката и имеющих некоторое предварительное поджатие.

Иногда (например в малокалиберных орудиях) пружины надеваются непосредственно на ствол.

При откате пружины дополнительно сжимаются, на что расходуется некоторая часть энергии отката, которая в дальнейшем и используется для наката ствола.

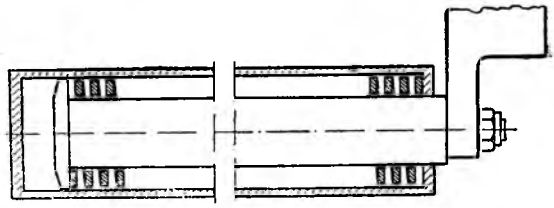


Рис. 210. Пружинный накатник

Основным достоинством пружинного накатника является простота его конструкции, надежность действия и легкость изготовления.

Область применения пружинных накатников: малокалиберная артиллерия до 76-*мм* калибра включительно, а также горная артиллерия.

б) Накатник с телескопическими пружинами (рис. 211) представляет разновидность пружинного накатника.

Действие его заключается в том, что при выстреле шток *1* откатывается и его поршень *2* сжимает внутреннюю пружину *3*, опирающуюся на дно цилиндра *4*, вследствие чего последний отходит назад и своей закраиной *5* сжимает наружную пружину *6*, опирающуюся на дно люльки

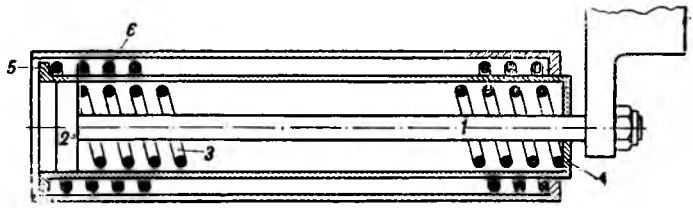


Рис. 211. Накатник с телескопическими пружинами:
1 — шток; *2* — поршень; *3* — внутренняя пружина; *4* — цилиндр; *5* — закраина; *6* — наружная пружина

Очевидно, что сумма стрел сжатия пружин будет равняться длине отката.

Преимущество телескопических накатников заключается в том, что можно получить длину накатника, почти равную длине отката, и следовательно, короткую длину люльки.

в) Гидропневматический накатник с непосредственным соприкосновением жидкости с воздухом (газом) представлен на рис. 187.

Принцип действия гидропневматического накатника изложен в главе I.

Жидкость здесь служит средством уплотнения воздуха в резервуарах накатника и средством передачи давления воздуха на поршень штока.

Достоинством накатника, осуществленного по этой схеме, является простота конструкции. К недостаткам его следует отнести: возможность образования большой коррозии металла, утечки воздуха и понижения его давления, происходящих вследствие поглощения воздуха жидкостью. Однако подобные накатники находят широкое применение в орудиях самого разнообразного калибра и назначения.

г) Накатник с плавающим поршнем по схеме рис. 212 при прочих равных условиях получается более компактным, но вследствие наличия плавающего поршня—более сложным, нежели накатник, показанный на схеме рис. 187.

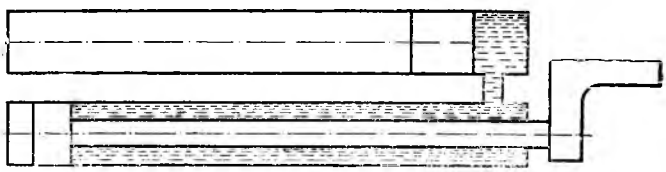


Рис. 212. Накатник с плавающим поршнем

Назначение плавающего поршня заключается в отделении воздуха от жидкости, что уменьшает возможность образования коррозии и утечки воздуха.

д) Пневматический накатник по схеме рис. 213 принципиально ничем не отличается от накатников гидропневматического типа, рассмотренных ранее, только в данном случае количество жидкости, запирающей воздух, доведено до минимума. Поэтому пневматический накатник является наиболее компактным и почти не подвержен коррозии.

Особенностью устройства пневматических накатников является конструкция их уплотнений. Идея устройства таких уплотнений аналогична идее устройства обтюраторов типа Банжа. Внутри стакана поршня накатника и в крышке цилиндра имеются каморы *1*, заполненные жидкостью, питающей сальниковое уплотнение.

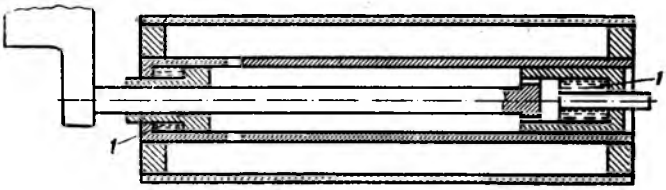


Рис. 213. Пневматический накатник

1 — каморы для жидкости

Благодаря устройству, показанному на рис. 213, удельное давление жидкости в каморах всегда будет больше давления запираемого воздуха, что обеспечивает надежную закупорку воздуха в цилиндре.

3. Гидравлические тормозы отката, их назначение, классификация и схемы устройства

Гидравлический тормоз отката предназначается для поглощения живой силы отката.

Сущность действия тормоза заключается в том, что при откате находящаяся в нем жидкость (глицериновая смесь, веретенное масло) прорызгивается через имеющиеся в тормозе малые отверстия. Вследствие этого возникает сопротивление тормоза откату и механическая энергия отката постепенно поглощается на некоторой длине отката, переходя в кинетическую, а затем в тепловую энергию жидкости тормоза.

Благодаря большой теплоемкости жидкости повышение ее температуры не превосходит 0,5 — 1° на один выстрел. Это позволяет производить большое число выстрелов, прежде чем температура жидкости поднимется до предельно допустимой величины (например до точки кипения).

Во время наката жидкость тормоза будет прорызгиваться в обратном направлении и, следовательно, будет также тормозить накат орудия.

Так как этого сопротивления недостаточно (вследствие малых скоростей наката) для поглощения всей избыточной энергии накатника, то в конструкции гидравлического тормоза отката предусматривается специальное устройство, называемое тормозом наката или модератором, назначение которого заключается в дополнительном торможении наката. Тормоз наката по принципу своего действия ничем не отличается от гидравлического тормоза отката.

Ниже приводится классификация тормозов отката и тормозов наката (таблица 61) и описание некоторых наиболее распространенных типов тормозов отката.

Таблица 61

Классификация тормозов отката

По способу изменения отверстий истечения							По длине отката		По конструктивной увязке с накатником	
веретенные		шпоночные	с канавками переменной глубины	золотниковые	клапанные	с постоянным отверстием истечения	с постоянной длиной отката	с длиной отката, изменяющейся с углом возвышения	независимые от накатника	органически соединенные с накатником
с переменным круглым сечением веретена	с канавками переменной глубины на веретене									

Классификация тормозов наката [1]

По способу изменения отверстий истечения						По длине пути торможения	
игольчатые	шпоночные	с канавками переменной глубины	золотниковые	клапанные	с постоянным отверстием истечения	тормозящие на всей длине наката	тормозящие не на всей длине наката

а) Тормоз отката со шпонками и игольчатым тормозом наката. Схема устройства показана на рис. 214.

На внутренней поверхности цилиндра *1* тормоза прострагивается несколько пазов, в которые вставляются шпонки *4* переменной высоты. На поршне *2* имеются соответствующие пазы *5*. При откате жидкость тормоза, заполняющая цилиндр, будет пробрызгиваться через переменные отверстия, образуемые кромкой пазов и шпонками. Профиль шпонок рассчитывается в соответствии с принятым законом сопротивления откату. надо иметь в виду, что при откате, вследствие выхода штока *3* поршня из цилиндра, в левой части последнего образуется вакуум, равный по объему выдвинувшейся части штока.

Торможение наката при такой схеме будет осуществляться не сразу после начала наката, а с момента окончания выбора вакуума, т. е. с момента, когда весь объем в передней части цилиндра между его дном и поршнем тормоза заполнится жидкостью. При этом заполнится жидкостью и вся полость штока.

Начиная с этого момента жидкость тормоза будет пробрызгиваться из левой части цилиндра в правую через вырезы в поршне. Вследствие этого возникнет сопротивление тормоза отката накату, а когда игла *6* станет входить в полость штока и вытеснять оттуда жидкость, торможение наката будет осуществляться и тормозом наката.

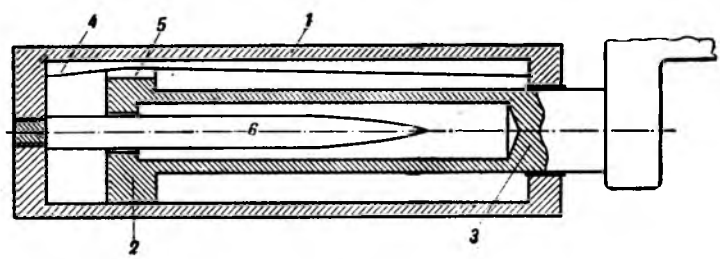


Рис. 214. Тормоз отката со шпонками:

1 — цилиндр тормоза; *2* — поршень; *3* — шток; *4* — шпонка; *5* — паз на поршне; *6* — игла

Желаемый закон торможения наката достигается соответствующим расчетом профиля иглы.

Эта схема широко применяется в стационарных установках. Для полевых орудий на колесном лафете она мало пригодна, так как при такой схеме трудно обеспечить устойчивость орудия при накате.

б) Тормоз отката с канавками переменной глубины и игольчатым тормозом наката. Схема устройства и действие этого тормоза аналогичны описанному для тормоза со шпонками. Только вместо пазов на внутренней поверхности цилиндра прострагиваются канавки переменной глубины (рис. 222, стр, 346).

[1] Классификация в основном заимствована из труда И. И. Иванова, Основы расчета и проектирования лафетов

В производственном отношении он менее выгоден по сравнению с тормозом со шпонками, так как последние легче изготовить, нежели канавки переменной глубины.

в) Тормоз отката веретенного типа с постоянной длиной отката и тормозом наката, действующим на всей длине. Схема устройства дана на рис. 215.

В цилиндре *1*, заполненном жидкостью, помещается поршень с полым штоком *2*. На внутренней поверхности штока прострогаиы канавки переменной глубины. В полость штока входит контршток или веретено *3* переменного сечения, закрепленное в дне цилиндра тормоза. На конце веретена помещается подвижной клапан *4* тормоза наката.

При откате жидкость тормоза пробрызгивается в полость поршня и там разделяется на два потока. Один поток направляется через кольцевой зазор между регулирующим кольцом *5* поршня и веретеном в переднюю часть цилиндра, а другой поток через кольцевой канал между веретеном и стенками полости штока направляется в пространство позади клапана *4*, освобождающееся при откате вследствие выхода веретена из полости штока.

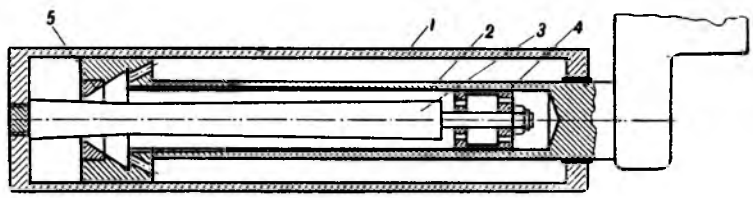


Рис. 215. Тормоз отката веретенного типа:

1 — цилиндр; *2* — шток; *3*— веретено; *4* — клапан; *5* — регулирующее кольцо

Под давлением второго потока жидкости клапан отходит назад и так как в нем имеются отверстия, то он не препятствует заполнению пространства за клапаном.

Торможение отката получается главным образом вследствие пробрызгивания первого потока жидкости через кольцевой зазор между регулирующим кольцом и веретеном.

Желаемый закон сопротивления откату осуществляется приданием веретену соответствующего профиля.

Так как во время отката шток поршня выходит из цилиндра, то в последнем образуется вакуум. Поэтому при накате тормоз отката вступит в действие только после момента выбора вакуума, когда весь объем в передней части цилиндра заполнится жидкостью и она начнет переходить из этой части цилиндра в заднюю через кольцевой зазор. При этом возникает сопротивление тормоза отката накату.

Тормоз наката в данной схеме вступит в действие с начала наката.

В самом деле, как только начнется накат, веретено будет входить обратно в полость штока и будет вытеснять оттуда жидкость. Под давлением этой жидкости клапан тормоза наката отодвинется вперед к срезу веретена, отверстия в клапане закроются, и жидкость сможет проходить только над клапаном по канавкам, прострогаиным на поверхности канала в штоке.

Соответствующим расчетом глубины канавок получают желаемый закон сопротивления накату.

Такой тормоз отката находит широкое применение в орудиях на колесном лафете, так как при данной схеме тормоза легко обеспечивается устойчивость орудия при накате.

К недостаткам его следует отнести трудность изготовления канавок переменной глубины в полости штока.

В последнее время появились тормозы веретенного типа, в которых цилиндрическое веретено имеет канавки переменной глубины с профилем, рассчитанным в соответствии с принятым законом сопротивления откату.

ГЛАВА VI

РАСЧЕТ НАКАТНИКОВ

1. Начальная сила накатника

Начальная сила накатника (сила накатника в начале отката) должна: а) надежно удерживать откатные части в их исходном положении до выстрела; б) быть достаточной для наката ствола при всех углах возвышения, включая φ_{max}.

Исходя из указанных требований, начальная сила накатника Π_0 должна удовлетворять условию:

$$\Pi_0 = Q_0 (\sin \varphi_{max} + f \cos \varphi_{max} + \nu), \tag{164}$$

где f — коэфициент трения на направляющих люльки, принимаемый в пределах от 0,16 до 0,20;

ν — коэфициент для учета трения в уплотнительных устройствах (сальниках и воротниках), принимаемый в пределах от 0,2 до 0,5.

2. Пружинные накатники

В пружинных накатниках закон изменения силы накатника П представляет линейную функцию пути отката X. Графически этот закон представлен на рис. 216, где:

Π_0 — начальная сила накатника;

s — стрела предварительного поджатия;

П — сила накатника, отвечающая пути отката X;

Π_λ — конечная сила накатника (сила накатника в конце отката);

λ — длина отката;

$\Delta\lambda$ — запас в длине отката на случай „перекатов".

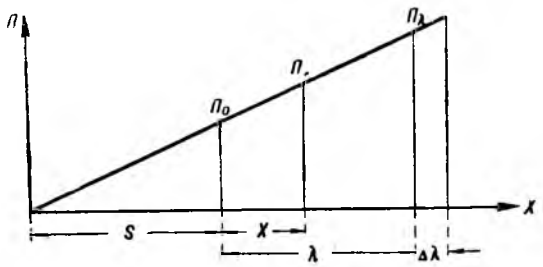


Рис. 216. График силы пружинного накатника

Из графика имеем для силы П выражение

$$\Pi = \Pi_0 \left(1 + \frac{X}{s}\right), \tag{165}$$

откуда при $X = \lambda$

$$\Pi_\lambda = \Pi_0 \left(1 + \frac{\lambda}{s}\right). \tag{166}$$

Отношение $\frac{П_\lambda}{П_0} = m$ называют **степенью сжатия** и обычно принимают в пружинных накатниках равным 2.

Тогда из уравнения (166) получим:

$$\frac{П_\lambda}{П_0} = m = 1 + \frac{\lambda}{s}, \tag{167}$$

откуда находим стрелу предварительного поджатия s:

$$s = \frac{\lambda}{m-1}. \tag{168}$$

Таким образом, установив длину отката λ и степень сжатия m, пользуясь уравнением (168), можно найти величину s и далее по формуле (165) рассчитать силу накатника для интересующих значений пути отката X.

Конструктивные размеры пружины накатника определяются по формулам:

1) для пружин с круглым сечением витка (рис. 217):

$$P_{max} = \frac{\pi d^3 R_d}{16r\left(1 + \frac{d}{3r}\right)}; \tag{169}$$

$$f_{max} = \frac{64 r^3 n P_{max}}{d^4 G}; \tag{170}$$

2) для пружин с прямоугольным сечением витка, у которого отношение сторон $\frac{b}{a} > 3$ (рис. 218):

$$P_{max} = \frac{a^2 (b - 0{,}63a) R_d}{3r}; \tag{171}$$

$$f_{max} = \frac{6\pi r^3 n}{a^3 (b - 0{,}63a)} \cdot \frac{P_{max}}{G}, \tag{172}$$

где P_{max} — максимальная сила пружины в *кг*;

f_{max} — максимальная стрела сжатия пружины в *см*;

n — число витков пружины;

R_d — допускаемое напряжение на кручение в *кг/см²* ($R_d = 10\,000 \div 11\,000$ *кг/см²*);

G — модуль упругости второго рода, равный 850 000 *кг/см²*.

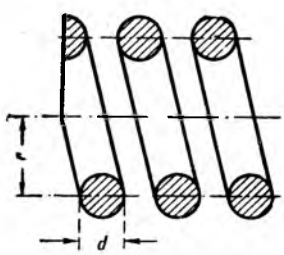


Рис. 217. Пружина с круглым сечением витка

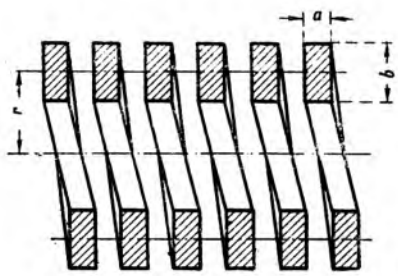


Рис. 218. Пружина с прямоугольным сечением витка

Остальные величины понятны из рис. 217 и 218. Все они выражаются в сантиметрах.

В расчетах принимается:

$$f_{max} = s + \lambda + \Delta\lambda; \tag{173}$$

$$P_{max} = П_0 \frac{f_{max}}{s}; \tag{174}$$

$$\Delta\lambda = 20 \div 50 \text{ мм}.$$

3. Гидропневматические накатники

Схема устройства накатника данного типа изображена на рис. 219.

Обозначим:

$A_н$ — живое сечение накатника, или рабочая площадь поршня накатника;

W_0 — начальный объем воздуха в резервуарах накатника (перед откатом);

W — объем воздуха в резервуарах в рассматриваемый момент отката;

p_0 — начальное давление воздуха в резервуарах, или давление предварительного поджатия;

p — давление воздуха в резервуарах в рассматриваемый момент отката.

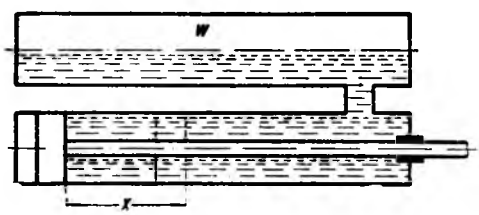


Рис. 219. Схема к расчету гидропневматического накатника

Начальная сила накатника будет:

$$П_0 = p_0 A_н. \tag{175}$$

Полагая, что процесс сжатия воздуха в резервуарах во время отката протекает по закону политропы, напишем:

$$pW^k = p_0 W_0^k, \tag{176}$$

где k — показатель политропы, принимаемый в расчетах равным 1,25 ÷ 1,33, откуда

$$p = p_0 \left(\frac{W_0}{W}\right)^k. \tag{177}$$

Как видно из приведенной схемы, объем воздуха W в рассматриваемый момент отката связан с начальным объемом W_0 таким соотношением:

$$W = W_0 - A_н X, \tag{178}$$

где X — путь отката к рассматриваемому моменту.

Подставляя значение W из (178) в уравнение (177), получим:

$$p = p_0 \left(\frac{W_0}{W_0 - A_н X}\right)^k. \tag{179}$$

Умножая теперь обе части уравнения (179) на $A_н$, получим:

$$pA_н = p_0 A_н \left(\frac{W_0}{W_0 - A_н X}\right)^k. \tag{180}$$

В полученное выражение введем из уравнения (175) $П_0$ и имея в виду, что величина $pA_н$ есть сила накатника в данный момент, обозначая ее через П, получим:

$$П = П_0 \left(\frac{W_0}{W_0 - A_н X}\right)^k \tag{181}$$

и далее:

$$\Pi = \Pi_0 \left(\frac{\frac{W_0}{A_н}}{\frac{W_0}{A_н} - X} \right)^k. \tag{182}$$

Обозначая величину $\frac{W_0}{A_н}$ через S, можем написать:

$$\Pi = \Pi_0 \left(\frac{S}{S - X} \right)^k \tag{183}$$

и окончательно для переменной силы накатника П получим формулу:

$$\Pi = \Pi_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{X}{S}} \right)^k. \tag{184}$$

График изменения силы П показан на рис. 220.

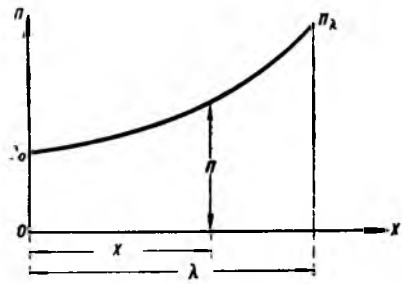


Рис. 220. График силы гидропневматического накатника

Для момента, отвечающего концу отката $X = \lambda$, конечная сила накатника будет:

$$\Pi_\lambda = \Pi_0 \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda}{S}} \right)^k. \tag{185}$$

Обозначим отношение $\frac{\Pi_\lambda}{\Pi_0}$ через m. Тогда из уравнения (185) имеем:

$$m = \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda}{S}} \right)^k. \tag{186}$$

Решая это уравнение относительно S, получим:

$$S = \frac{\lambda}{1 - \frac{1}{m^{1/k}}}, \tag{187}$$

Но, с другой стороны,

$$S = \frac{W_0}{A_н}, \tag{188}$$

следовательно,

$$W_0 = A_н S. \tag{189}$$

Определив значение S по формуле (187) и подставляя его в уравнение (189), найдем начальный объем воздуха W_0.

Величина S называется высотой начального объема воздуха W_0, приведенного к площади живого сечения цилиндра накатника $A_н$, или просто приведенной высотой начального объема W_0.

Чтобы получить W_0 в литрах, надо в формулу (189) ввести коэфициент 0,1, и тогда:

$$W_0 = 0{,}1 A_н S \ л \tag{190}$$

где $A_н$ — в $см^2$, S — в $м$.

Величину $m = \frac{П_λ}{П_0}$ называют степенью сжатия и принимают в расчетах гидропневматических накатников в пределах $2 \div 4$, причем меньшие значения — для скорострельных орудий, а бо́льшие — для нескорострельных.

Величина $П_λ$ при выбранном значении m в орудиях на колесном лафете должна удовлетворять условию

$$П_λ < R_λ - R_f. \tag{191}$$

При несоблюдении этого условия тормоз отката в конце отката будет поставлен в нереальные условия работы.

Величину начального давления p_0 в резервуарах накатника принимают в пределах от 25 до 50 am.

Живое сечение цилиндра накатника определяют на основании уравнения (175) по формуле

$$A_н = \frac{П_0}{p_c}. \tag{192}$$

Расчет гидропневматического накатника ведут следующим порядком.

а) Определяют приближенно начальную ($П_0$) и конечную ($П_λ$) силы накатника по формулам

$$П_0 = Q_0 (\sin \varphi_{max} + f \cos \varphi_{max} + \nu) \ (кг);$$

здесь:

$$f = 0{,}16 \div 0{,}20; \ \nu = 0{,}2 \div 0{,}5;$$

$$П_λ = m П_0 \ (кг), \text{ где } m = 2 \div 4.$$

б) Проверяют значение $П_λ$:

$$П_λ < R_λ - R_f.$$

в) Рассчитывают диаметр штока накатника:

$$d_н = 2 \sqrt{\frac{П_λ}{\pi R_z}} \ (см),$$

где R_z — допускаемое напряжение на разрыв в пределах $800 \div 1\,000 \ кг/см^2$.

Полученное значение $d_н$ округляют по ОСТ.

г) Определяют приближенно рабочую площадь поршня накатника:

$$A_н = \frac{П_0}{p_0} \ (см^2),$$

где $p_0 = 25 \div 50 \ am$.

д) Внутренний диаметр цилиндра накатника рассчитывают по формуле

$$D_н = \sqrt{\frac{4 A_н}{П} + d_н^2} \ (см).$$

Полученное значение $D_н$ округляют по ОСТ.

е) Теперь определяют точное значение рабочей площади поршня накатника:

$$A_н = \frac{\pi}{4}(D_н^2 - d_н^2)\ (см^2).$$

ж) Находят точное значение начальной силы накатника:

$$П_0 = p_0 A_н\ (кг).$$

з) Определяют приведенный начальный объем воздуха:

$$S = \frac{\lambda}{1 - \frac{1}{m^{1/k}}}\ (м),$$

где $k = 1{,}25 \div 1{,}33$.

и) Находят начальный объем воздуха:

$$W_0 = 0{,}1\, SA_н\ (л).$$

к) Рассчитывают переменное значение силы накатника:

$$П = П_0\left(\frac{1}{1 - \frac{X}{S}}\right)^k (кг).$$

Величину П определяют для ряда значений длины отката X.

л) Определяют напряжение стенок цилиндра накатника и резервуаров:

$$\sigma = \frac{2}{3} \cdot \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} p_{max}\ (кг/см^2),$$

причем $p_{max} = \frac{П_0}{A_н}$, r_1 и r_2 — соответственно внутренний и наружный радиусы стенок; σ должна быть в пределах $800 \div 1200$ $кг/см^2$.

ГЛАВА VII

РАСЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТОРМОЗОВ ОТКАТА

1. Предварительные сведения

При выводе формулы для силы гидравлического тормоза отката в качестве исходного обычно применяют известное из гидравлики уравнение Даниила Бернулли.

В самом общем виде это уравнение по отношению к произвольной частице идеальной жидкости напишется так:

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{w^2}{2g} = \text{const}, \qquad (193)$$

где z — абсолютная высота частицы жидкости над произвольным уровнем;

$\frac{p}{\gamma}$ — пьезометрическая высота, или высота, соответствующая гидродинамическому давлению p, под которым находится частица жидкости;

$\frac{w^2}{2g}$ — скоростная высота, или скоростный напор, т. е. высота, с которой должно упасть тяжелое тело, чтобы приобрести ту скорость w, какую имеет частица жидкости;

γ — удельный вес жидкости;

g — ускорение силы тяжести.

При рассмотрении движения действительной жидкости в уравнение Д. Бернулли вводится дополнительный член, выражающий потери удельной энергии жидкости на преодоление всякого рода сопротивлений (гидравлическое трение, вихревое движение, гидравлический удар и т. д.) на пройденном участке пути. Тогда уравнение Д. Бернулли для некоторых двух точек пути жидкости (рис. 221) напишем в таком виде:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{w_2^2}{2g} + h, \tag{194}$$

где h — высота потерянного скоростного напора.

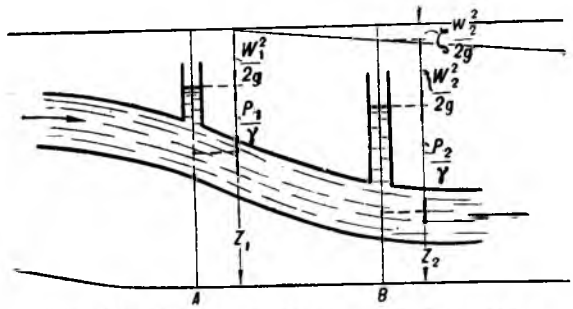


Рис. 221. Схема к уравнению Д. Бернулли

Величину h принимают пропорциональной величине скоростного напора и равной $\zeta \frac{w_2^2}{2g}$.

Тогда уравнение (194) перепишется так:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + (1 + \zeta)\frac{w_2^2}{2g}. \tag{195}$$

Обозначая $(1 + \zeta)$ через k, получим окончательный вид уравнения Бернулли, применяемого в расчете гидравлических тормозов отката:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + k\frac{w_2^2}{2g}. \tag{196}$$

Коэфициент $k = 1 + \zeta$ называется коэфициентом сопротивления.

2. Формула Канэ для силы гидравлического тормоза невретенного типа

Возьмем для примера тормоз с канавками (рис. 222) и положим, что цилиндр тормоза остается при откате неподвижным, а поршень со штоком откатывается вместе со стволом орудия.

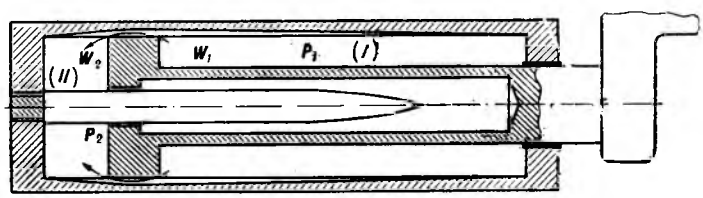


Рис. 222. Тормоз с канавками

Тогда жидкость тормоза будет пробрызгиваться через отверстия, образующиеся между поршнем и канавками, из области *I* в область *II*.

Применим для струи жидкости, протекающей через указанные отверстия, уравнение Д. Бернулли:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + k\frac{w_2^2}{2g}, \tag{196}$$

где z_1 — уровень жидкости в области *I*;
p_1 — удельное давление в области *I*;
w_1 — скорость жидкости в области *I*;
z_2 — уровень жидкости в области *II*;
p_2 — удельное давление в области *II*;
w_2 — скорость истечения жидкости из отверстий;
k — коэфициент сопротивления.

Пренебрегаем разностью уровней жидкости и членом $\frac{p_2}{\gamma}$, вследствие того что при откате в области *II* образуется вакуум. Тогда уравнение (196) примет вид:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{w_1^2}{2g} = k\frac{w_2^2}{2g}. \tag{197}$$

Для определения зависимости между скоростями жидкости воспользуемся известным из гидравлики уравнением сплошности потока:

$$aw_2 = A_т w_1, \tag{198}$$

где a — суммарная площадь отверстий истечения;
$A_т$ — рабочая площадь поршня тормоза;
aw_2 — объем жидкости, поступающей в область *II* за бесконечно малый промежуток времени dt;
$A_т w_1$ — объем жидкости, вытесняемой поршнем из области *I* за тот же промежуток времени dt.

Из уравнения (198) находим:

$$w_2 = \frac{A_т}{a} w_1. \tag{199}$$

Так как отношение $\frac{A_т}{a}$ представляет обычно очень большое число, то из уравнения (199) следует, что скорость w_1 очень мала по сравнению со скоростью w_2.

Принимая это во внимание, можно член $\frac{w_1^2}{2g}$ в уравнении (197) отбросить как очень малый по сравнению с членом $k\frac{w_2^2}{2g}$, и тогда это уравнение еще больше упростится:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{kw_2^2}{2g}. \tag{200}$$

Замечая, что скорость w_1 есть не что иное как скорость отката V, и подставляя значение w_2 из уравнения (199) в (200), получим:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{k}{2g} \cdot \frac{A_т^2}{a^2} V^2, \tag{201}$$

или

$$p_1 = \frac{k\gamma A_т^2 V^2}{2ga^2}. \tag{202}$$

Умножая обе части последнего уравнения на $A_т$, будем иметь:

$$p_1 A_т = \frac{k\gamma A_т^3 V^2}{2ga^2}. \tag{203}$$

Произведение $p_1 A_т$ представляет полную силу сопротивления тормоза отката. Обозначая последнюю через Ф, получим для определения величины силы сопротивления тормоза известную формулу Канэ:

$$\Phi = \frac{k\gamma A_т^3 V^2}{2ga^2}. \tag{204}$$

В этой формуле все величины выражены в системе килограмм-метр-секунда. Практически удобнее выражать: площади — в $см^2$, а удельный вес — в $кг/дм^3$.

Отсюда нетрудно убедиться, что для получения силы Ф в килограммах нужно в формулу (204) ввести коэфициент 0,1. Тогда окончательно формула Канэ получит следующий вид:

$$\Phi = \frac{k\gamma A_т^3 V^2}{20ga^2}. \tag{205}$$

Коэфициент k в тормозах неверетенного типа принимают в пределах $1{,}4 \div 1{,}6$.

3. Формула для расчета отверстий истечения в тормозах неверетенного типа

Решая уравнение (205) относительно величины a отверстий истечения, получим:

$$a = \sqrt{\frac{k\gamma A_т^3}{20g}} \sqrt{\frac{V^2}{\Phi}}, \tag{206}$$

или

$$a = \frac{A_т \sqrt{\frac{k\gamma A_т}{20g}}}{\sqrt{\frac{\Phi}{V^2}}}. \tag{207}$$

Числитель есть величина постоянная для данного тормоза и может быть вычислен заранее. Обозначая его через C, получим окончательно:

$$a = \frac{C}{\sqrt{\frac{\Phi}{V^2}}}, \tag{208}$$

где

$$C = A_т \sqrt{\frac{k\gamma A_т}{20g}}. \tag{209}$$

Способ расчета профиля отверстий истечения изложен в § 9.

4. Формула для силы гидравлического тормоза отката веретенного типа

Схема устройства такого тормоза показана на рис. 223.

Положим, что при откате цилиндр тормоза с веретеном остается неподвижным, а поршень со штоком откатывается вместе со стволом.

Обозначим:

$A_т$ — рабочая площадь поршня тормоза;

$\mathfrak{A}$ — площадь сечения канала в штоке;

a — площадь отверстия истечения между веретеном и регулирующим кольцом;

Ω — площадь кольцевого канала между внутренней поверхностью штока и веретеном;

V — скорость отката;

w_2 — скорость истечения жидкости через отверстие площади a;

w_3 — скорость движения жидкости в кольцевом канале площади Ω;

p_1 — давление в жидкости перед поршнем в области I;

p_3 — давление в жидкости в полости штока за клапаном тормоза наката.

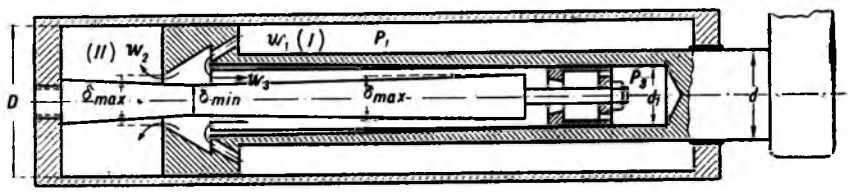


Рис. 223. Схема к расчету отверстий истечения тормоза веретенного типа

При откате часть жидкости из-под поршня отклоняется от главной струи в обратном направлении и заполняет пространство, освобождающееся позади клапана тормоза наката. Допустим, что давление в этом пространстве равно p_3.

В этом случае сила сопротивления откату Φ является равнодействующей двух сил: $p_1 A_т$ — силы давления жидкости в области I и $p_3\mathfrak{A}$ — силы противодавления жидкости в пространстве позади клапана тормоза наката, т. е.

$$\Phi = p_1 A_т - p_3\mathfrak{A}. \tag{210}$$

Для упрощения последующих преобразований равенство (210) можно представить в таком виде:

$$\Phi = p_1 (A_т - \mathfrak{A}) + (p_1 - p_3)\mathfrak{A}. \tag{211}$$

Напишем теперь уравнение Д. Бернулли для струи жидкости, идущей в область II.

Учитывая изложенное в § 2, будем иметь:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{k w_2^2}{2g}. \tag{212}$$

Уравнение сплошности потока по отношению к струе, поступающей в полость поршня, напишется так:

$$A_т V = a w_2 + \mathfrak{A} V, \tag{213}$$

где $A_т V$ — объем жидкости, поступающей в полость поршня за бесконечно малый промежуток времени dt;

$a w_2$ — объем жидкости, поступающей в область II через отверстие площади a за тот же промежуток времени dt;

$\mathfrak{A} V$ — объем жидкости, поступающей в пространство за клапаном тормоза наката за промежуток времени dt при условии непрерывного заполнения этого пространства.

Из уравнения (213) найдем скорость w_2:

$$w_2 = \frac{(A_т - \mathfrak{A})V}{a}. \tag{214}$$

Подставляя это значение скорости w_2 в уравнение (212), получим:

$$p_1 = \frac{k\gamma(A_т - \mathfrak{A})^2 V^2}{2ga^2}. \tag{215}$$

Напишем теперь уравнение Д. Бернулли для струи жидкости, идущей под клапан тормоза наката:

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_3}{\gamma} + \frac{k_3 w_3^2}{2g}, \tag{216}$$

где k_3 — коэфициент сопротивления рассматриваемой струи, отличный от коэфициента k.

Уравнение сплошности потока по отношению к рассматриваемой струе напишется так:

$$\Omega w_3 = \mathfrak{A}V, \tag{217}$$

откуда

$$w_3 = \frac{\mathfrak{A}}{\Omega} V. \tag{218}$$

Подставляя это значение w_3 в уравнение (216), получим:

$$p_1 - p_3 = \frac{k_3\gamma}{2g} \cdot \frac{\mathfrak{A}^2}{\Omega^2} V^2. \tag{219}$$

Полученные выражения для p_1 и $p_1 - p_3$ подставляем в уравнение (211) и после преобразований находим выражение для силы гидравлического тормоза отката веретенного типа:

$$\Phi = \left[\frac{k(A_т - \mathfrak{A})^3}{a^2} + k_3 \frac{\mathfrak{A}^3}{\Omega^2}\right] \frac{\gamma}{2g} V^2. \tag{220}$$

Выражая площади в $см^2$, удельный вес—в $кг/дм^3$, получим окончательно:

$$\Phi = \frac{k\gamma}{20g}\left[\frac{(A_т - \mathfrak{A})^3}{a^2} + \frac{k_3}{k} \cdot \frac{\mathfrak{A}^3}{\Omega^2}\right] V^2. \tag{221}$$

Так как значение второго члена внутри скобок по сравнению с первым невелико, то приближенно можно принять:

$$\Phi = \frac{k\gamma(A_т - \mathfrak{A})^3}{20ga^2} V^2. \tag{222}$$

В последнем виде формула для силы тормоза веретенного типа мало отличается от формулы для силы тормоза неверетенного типа.

5. Формула для расчета отверстий истечения в тормозе веретенного типа

Решая уравнение (222) относительно величины a площади отверстия истечения, получим:

$$a = \sqrt{\frac{k\gamma(A_т - \mathfrak{A})^3}{20g}} \sqrt{\frac{V^2}{\Phi}},$$

или окончательно:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{k\gamma}{20g}}(A_т - \mathfrak{A})^{3/2}}{\sqrt{\frac{\Phi}{V^2}}}. \tag{223}$$

Числитель представляет величину постоянную для данного тормоза и может быть вычислен заранее. Обозначая его через C, получим окончательно:

$$a = \frac{C}{\sqrt{\frac{\Phi}{V^2}}}; \tag{224}$$

где

$$C = \sqrt{\frac{k\gamma}{20g}}\,(A_т - \mathfrak{A})^{3/2}. \tag{225}$$

Значение коэфициента k в тормозах данного типа принимается в пределах $1{,}5 \div 2{,}25$.

6. Условие, которому должно удовлетворять среднее значение сечения кольцевого канала Ω

Для того чтобы тормоз наката вступил в действие сразу после начала наката, необходимо, чтобы пространство, освобождающееся при откате внутри штока за клапаном, непрерывно заполнялось жидкостью.

Это условие будет выполнено, если внутри указанного пространства давление жидкости при откате p_3 будет больше нуля.

Для вывода условия воспользуемся выражением (219). Решая его относительно p_3, получим:

$$p_3 = p_1 - \frac{k_3\gamma}{2g} \cdot \frac{\mathfrak{A}^2}{\Omega^2} V^2. \tag{226}$$

Как уже сказано выше, для непрерывного заполнения канала штока необходимо иметь $p_3 > 0$, т. е. чтобы было

$$p_1 - \frac{k_3\gamma}{2g} \cdot \frac{\mathfrak{A}^2}{\Omega^2} V^2 > 0. \tag{227}$$

Заменяя $p_1 = \frac{\Phi}{A_т}$ и решая неравенство относительно Ω, получим:

$$\Omega > \frac{\mathfrak{A}\sqrt{\frac{k_3\gamma}{2g} A_т}}{\sqrt{\frac{\Phi}{V^2}}}. \tag{228}$$

Наибольшее значение правая часть неравенства (228) будет иметь при наименьшем значении дроби $\frac{\Phi}{V^2}$. Это соответствует обычно максимальной скорости отката. Тогда условие, которому должна удовлетворять средняя площадь кольцевого канала Ω, напишется окончательно так:

$$\Omega > \frac{\mathfrak{A}\sqrt{\frac{k_3\gamma}{20g} A_т}}{\sqrt{\left(\frac{\Phi}{V^2}\right)_{\min}}}, \tag{229}$$

где все величины выражены в принятых на практике единицах.

Значения коэфициента k_3 в расчетах принимают в пределах от 2 до 5 и выше. Принятая величина его должна удовлетворять следующему условию, вывод которого здесь не даем:

$$\frac{\lambda}{e} < 170\,(k_3 - 1), \tag{230}$$

где λ — длина отката;

e — средний радиальный зазор между веретеном и стенками канала штока.

7. Общие соображения, относящиеся к расчету гидравлического тормоза

Расчет тормоза отката составляет часть общего расчета противооткатных устройств и состоит из расчета:

1) прочных конструктивных размеров тормоза;
2) отверстий истечения;
3) профиля регулирующей детали тормоза (шпонка, канавка, веретено и т. д.).

Ранее было указано, что величина силы сопротивления откату R определяется выражением

$$R = \Phi + \Pi + R_f - Q_0 \sin\varphi. \tag{104}$$

Из выражения (104) находим:

$$\Phi = R - \Pi - R_f + Q_0 \sin\varphi. \tag{231}$$

Из рассмотрения диаграмм на рис. 199 и 200 (стр. 323 и 324) видно, что наибольшего значения сила тормоза отката Ф достигает:

1) при торможении постоянной силой R — в начале отката;
2) при торможении переменной силой R — в момент конца последействия газов.

Необходимо иметь в виду, что:

1) при постоянной длине отката сила R не зависит от угла возвышения, а при переменной — эта сила растет с углом возвышения;
2) сила накатника П от угла возвышения не зависит;
3) сила трения R_f изменяется с углом возвышения незначительно;
4) сила $Q_0 \sin\varphi$ с углом возвышения растет; поэтому, обозначая через Φ_{max} наибольшее значение силы сопротивления тормоза отката, будем иметь при торможении постоянной силой R:

$$\Phi_{max} = \Phi_0 = R - \Pi_0 - R_f + Q_0 \sin\varphi_{max} \tag{232}$$

и при торможении переменной силой R:

$$\Phi_{max} = \Phi_к = R_к - \Pi_к - R_f + Q_0 \sin\varphi_{max}, \tag{233}$$

где R, Π_0 и $R_к$, $\Pi_к$ — значения сил R и П, соответствующие началу отката и концу последействия газов;

φ_{max} — наибольший угол возвышения.

При Φ_{max} в деталях тормоза будут появляться наибольшие напряжения, поэтому расчет основных конструктивных размеров деталей тормоза должен быть произведен по максимальному значению силы тормоза Φ_{max}, определяемой выражениями (232) или (233) в соответствии с принятым законом изменения силы сопротивления откату R.

Отверстия истечения в тормозе отката при проектировании орудий на колесном лафете рассчитывают по значению силы сопротивления тормоза при предельном угле устойчивости $\varphi_{пр}$, величина которой определяется из выражения

$$\Phi = R - \Pi - R_f + Q_0 \sin\varphi_{пр}, \tag{234}$$

где R — переменная сила сопротивления откату, удовлетворяющая условию устойчивости [см. формулы (40) и (140)].

При проектировании стационарных установок и при расчете короткого отката в тормозах с переменным откатом в орудиях на колесном лафете определение отверстий

истечения производят, исходя из сопротивления тормоза Ф, отвечающего наибольшему углу возвышения φ_{max}, т. е. из выражения

$$\Phi = R - \Pi - R_f + Q_0 \sin \varphi_{max}, \qquad (235)$$

где R — постоянное сопротивление откату.

Профиль регулирующей детали тормоза (шпонка, канавка, золотник, веретено и т. д.) зависит от принятого типа тормоза. Расчет профиля производится на основе данных, полученных при расчете отверстий истечения по формулам, приведенным ниже.

Для расчета силы тормоза Ф по формулам (234) и (235), очевидно, надо знать все величины в правой части указанных формул (R, П, R_f и $Q_0 \sin \varphi$). Следовательно, расчет этих величин должен предшествовать расчету силы тормоза Ф.

Сила сопротивления R определяется по формуле (139), если она принята постоянной на всей длине отката, и по формулам (142), (143) и (146), если она принята переменной.

Таблица 62

X	R	V^2	П	Ф	$\frac{\Phi}{V^2}$	a	δ
0	R	0	Π_0	Φ_0	∞	0	δ_{max}
X_m							
X_o							
X_R							
$X_к$							
X_1							
X_2							
λ	R_λ	0	Π_λ	Φ_λ	∞	0	δ_{max}

Сила накатника П определяется по формуле (165), если накатник пружинного типа, и по формуле (184), если накатник гидропневматический.

Сила трения R_f в направляющих и уплотнительных устройствах тормоза и накатника (сальники, воротники) принимается постоянной на всей длине отката и определяется приближенно по формуле

$$R_f = Q_0 (f \cos \varphi + \nu), \tag{236}$$

где f — коэфициент трения на направляющих, равный $0{,}16 \div 0{,}20$;

ν — коэфициент, учитывающий трение в уплотнительных устройствах и принимаемый в пределах от 0,2 до 0,5.

Расчет силы тормоза Ф производят для путей отката X_m, $X_д$, X_R и $X_к$, найденных при определении элементов торможенного отката, а также и для ряда значений X во втором периоде отката (через каждые 10 *см* при длине отката $\lambda \geqslant 1$ *м* и через 5 *см* при $\lambda < 0{,}5$ *м*).

Далее для тех же путей отката подсчитываются по формулам (138) или (161) квадраты скоростей отката V^2 и отношение $\frac{\Phi}{V^2}$, необходимые для последующего расчета отверстий истечения по формулам (208) или (224).

Все найденные величины заносятся в соответствующую графу составляемой таблицы.

8. Расчет тормоза отката веретенного типа

Расчет тормоза отката веретенного типа (рис. 223) ведут в следующем порядке.

1. Определяют приближенно наибольшую силу тормоза:

$$\Phi_{max} = R_к - П_к \ (кг).$$

2. Рассчитывают приближенно рабочую площадь поршня тормоза:

$$A_т = \frac{\Phi_{max}}{p_{max}} \ (см^2),$$

где p_{max} — наибольшее допускаемое давление в цилиндре тормоза, принимаемое в пределах 150 — 300 *кг/см*^{2}.

3. Определяют диаметр поршня (внутренний диаметр цилиндра):

$$D = 2u \sqrt{\frac{A_т}{\pi (u^2 - 1)}} \ (см);$$

здесь $u = \frac{D}{d} = 1{,}5 \div 2{,}1$ выбирают, исходя из конструктивных соображений.

Вычисленное значение D округляется по ОСТ.

4. Устанавливают наружный диаметр штока:

$$d = \frac{D}{u} \ (см).$$

Вычисленное значение d округляется по ОСТ.

5. Определяют точное значение рабочей площади поршня:

$$A_т = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \ (см^2).$$

6. Устанавливают внутренний диаметр штока:

$$d_1 \leqslant \sqrt{d^2 - \frac{4\Phi_{max}}{\pi R_z}} \ (см).$$

Допускаемое напряжение R_z принимается в пределах от 1 000 до 1 500 *кг/см²*.

В случае откатывающихся штоков необходимо учесть силу инерции J последних. Тогда диаметр d_1 определяют по формуле

$$d_1 \leqslant \sqrt{d^2 - \frac{4(\Phi_{max} + J)}{\pi R_z}} \ (см),$$

где $J \approx \frac{q_{шт}}{Q_0} P_{кн\ max}$; $q_{шт}$ — вес штока с поршнем.

7. Вычисляют силу трения R_f:

$$R_f = Q_0 (f \cos \varphi_{пр} + \nu) \ (кг),$$

где $f = 0{,}16 \div 0{,}20$; $\nu = 0{,}2 \div 0{,}5$.

8. Вычисляют переменную силу тормоза отката:

$$\Phi = R - \text{II} - R_f + Q_0 \sin \varphi \ (кг).$$

Значения силы Ф заносятся в графу 5 таблицы 62.

9. Определяют отношение $\Phi : V^2$.

Значения $\Phi : V^2$ заносятся в графу 6 таблицы 62.

10. Определяют рабочую площадь тормоза наката:

$$\mathfrak{A} = \frac{\pi d_1^2}{4} \ (см^2).$$

11. Определяют наибольшее отверстие истечения тормоза отката:

$$a_{max} = \frac{\sqrt{\frac{k\gamma}{20g}} (A_т - \mathfrak{A})^{3/2}}{\sqrt{(\Phi / V^2)_{min}}} \ (см^2);$$

$k = 1{,}5 \div 2{,}25$; $\gamma = 0{,}89$ для веретенного масла; $\gamma = 1{,}14$ для глицериновой смеси.

12. Получают среднее значение площади кольцевого канала в штоке:

$$\Omega = \frac{\pi}{4} (d_1^2 - \delta_{max}^2) + \frac{a_{max}}{2} \ (см^2).$$

δ_{max} — наибольший диаметр веретена (диаметр регулирующего кольца); он принимается конструктивно:

$$\delta_{max} = d_1 - (0{,}4 \div 0{,}6) \ \ (см).$$

13. Условие заполняемости штока:

$$\Omega \geqslant \frac{\mathfrak{A} \sqrt{\frac{k_з \gamma}{20g} A_т}}{\sqrt{(\Phi / V^2)_{min}}},$$

где $k_з = 2 \div 5$ и выше.

В случае, если это условие не выполняется, следует уменьшить δ_{max} и снова определить значение Ω по п. 12.

14. Вычисляют наименьший диаметр веретена:

$$\delta_{min} = \sqrt{\delta_{max}^2 - \frac{4}{\pi} a_{max}} \ (см).$$

15. Определяют средний радиальный зазор между веретеном и стенками штока:

$$e = \frac{1}{2} \left(d_1 - \frac{\delta_{max} + \delta_{min}}{2} \right) (см).$$

16. Проверяют зазор e:

$$\frac{\lambda}{e} < 170(k_3 - 1),$$

где k_3 — то же, что и в п. 13.

В случае, если условие 16 не выполняется, необходимо еще уменьшить δ_{max} и повторить вычисления по пп. 14, 15 и 16.

17. Вычисляют переменное значение отверстия истечения:

$$a = \frac{\sqrt{\frac{k_T}{20g}(A_T - \mathfrak{A})^{3/2}}}{\sqrt{\Phi/V^2}} \ (см^2).$$

Значения a заносятся в графу 7 таблицы 62.

18. Определяют переменный диаметр веретена:

$$\delta = \sqrt{\delta_{max}^2 - \frac{4}{\pi} a} \ (см).$$

Значения δ заносятся в графу 8 таблицы 62.

19. Определяют напряжение в стенках цилиндра:

$$\sigma = \frac{2}{3} \cdot \frac{2r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} p_{max} \ (кг/см^2),$$

где $p_{max} = \frac{\Phi_{max}}{A_T}$, причем допускаемое напряжение $\sigma = 800 \div 1200$ $кг/см^2$.

9. Расчет тормоза невeретенного типа

Расчет тормоза отката невeретенного типа (для примера возьмем тормоз с канавками, рис. 224) ведут в следующем порядке.

1. Определяют приближенно наибольшую силу тормоза:

$$\Phi_{max} = R - \Pi_0 \ (кг).$$

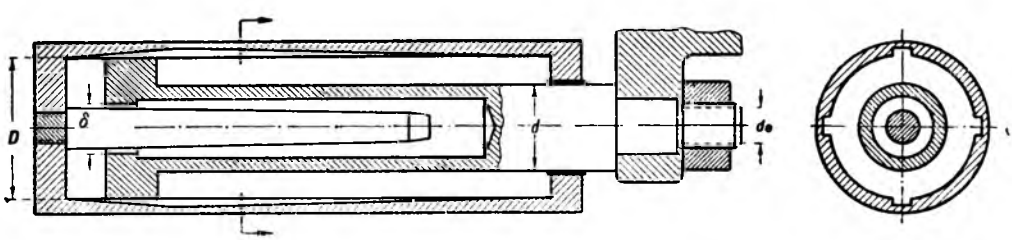


Рис. 224. Схема к расчету тормоза с канавками

2. Определяют приближенно рабочую площадь поршня тормоза:

$$A_T = \frac{\Phi_{max}}{p_{max}} (см^2),$$

где $p_{max} = 150 \div 300$ $кг/см^2$.

3. Устанавливают диаметр поршня (внутренний диаметр цилиндра):

$$D = 2u \sqrt{\frac{A_T}{\pi(u^2 - 1)}},$$

где $u = 2$ и больше.

4. Устанавливают наружный диаметр штока:

$$d = \frac{D}{u} \ (см).$$

5. Проверяют прочность штока по внутреннему диаметру резьбы на конце штока:

$$d_в \geqslant \sqrt{\frac{4\Phi_{max}}{\pi R_z}} \ (см),$$

где $R_z = 1000 \div 1500$ *кг/см²*.

В случае применения откатывающихся штоков следует учесть силу инерции штока J согласно п. 6, § 8.

6. Определяют точное значение рабочей площади поршня

$$A_т = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \ (см^2),$$

где D и d — округленные (нормальные) диаметры поршня и штока.

7. Вычисляют силу трения R_f:

$$R_f = Q_0 (f \cos \varphi_{max} + \nu) \ (кг);$$

$$f = 0{,}16 \div 0{,}20; \ \nu = 0{,}2 \div 0{,}5.$$

8. Определяют переменную силу тормоза отката:

$$\Phi = R - \text{II} - R_f + Q_0 \sin \varphi_{max}.$$

9. Подсчитывают отношение Φ/V^2.

10. Вычисляют переменное отверстие истечения тормоза:

$$a = \frac{A_т \sqrt{\frac{k\gamma}{2g} A_т}}{\sqrt{\Phi/V^2}} \ (см^2),$$

где $k = 1{,}4 \div 1{,}5$.

11. Определяют наибольшую глубину канавки (рис. 225):

$$h_{max} = \frac{a_{max}}{nb} \ (см),$$

где a_{max} — наибольшее отверстие истечения;
n — число канавок ($2 \div 4$ и больше);
b — ширина канавки (в *см*) — принимается конструктивно.

Рис. 225. Схема к расчету отверстия истечения тормоза с канавками

12. Вычисляют переменную глубину канавок:

$$h = \frac{h_{max}}{a_{max}} a \ (см).$$

13. Определяют напряжение в стенках цилиндра:

$$\sigma = \frac{2}{3} \cdot \frac{2r_2^2 + (r_1 + h_{max})^2}{r_2^2 - (r_1 + h_{max})^2} \cdot \frac{\Phi_{max}}{A_т} \ (кг/см^2).$$

Допускаемое напряжение $\sigma = 800 \div 1200$ *кг/см²*.

ГЛАВА VIII

НАКАТ ОРУДИЯ

1. Общие соображения

После окончания отката откатные части орудия под действием силы накатника возвращаются в свое исходное положение до выстрела. Это явление называется накатом.

При накате под углом возвышения $\varphi \geqslant 0$ единственной силой, движущей откатные части, будет сила накатника (при накате под углом возвышения $\varphi < 0$ к ней присоединилась бы еще слагающая веса откатных частей $Q_0 \sin\varphi$). Все остальные силы, приложенные к откатным частям, будут силами, тормозящими накат.

Очевидно, что сила накатника в начале наката должна быть больше равнодействующей сил, тормозящих накат. Следовательно, в начале наката имеем период ускоренного наката, в течение которого скорость наката будет возрастать от нуля, достигая некоторого максимума в конце периода.

Для того чтобы к концу наката откатные части подошли к упорам, ограничивающим накат плавно и без удара (скорость наката должна быть равной нулю), необходимо всю энергию, приобретенную ими в период ускоренного наката, поглотить на протяжении последующего периода наката.

Таким образом, в конце наката должен быть период замедленного наката, в течение которого скорость наката должна постепенно убывать до нуля. Продолжительность этого периода, в целях обеспечения надлежащей скорострельности орудия, не должна быть значительной.

Положим, что накат происходит под углом возвышения $\varphi = 0$ и орудие снабжено тормозом отката веретенного типа. Тогда силы, действующие на откатные части во время наката, будут следующие: П — сила накатника; $\Phi'_н$ — сила сопротивления тормоза наката; Φ'_0 — сила сопротивления тормоза отката; R'_f — сила сопротивления трения на направляющих люльки и в уплотнительных устройствах.

Указанные силы вступят в действие неодновременно.

Действительно, как только откат прекратится, откатные части под действием накатника начнут перемещаться в обратном направлении, и на периоде ускоренного наката этому перемещению будет противодействовать только сила сопротивления тормоза наката $\Phi'_н$ и сила трения R'_f.

Что касается силы сопротивления тормоза отката Φ'_0, то последняя вступит в действие только после выбора вакуума в цилиндре тормоза отката.

Для получения быстрого и плавного наката желательно, чтобы момент вступления в действие тормоза отката совпал с началом периода замедленного наката и чтобы общая равнодействующая сил торможения наката с началом этого периода возрастала постепенно, а затем оставалась постоянной. Величину пути наката, отвечающего моменту выбора вакуума в цилиндре тормоза отката, можно определить, исходя из следующих соображений.

Объем вакуума внутри цилиндра тормоза, образовавшийся вследствие выхода штока при откате, равен:

$$\frac{\pi d^2}{4}\lambda, \tag{237}$$

где d — диаметр штока и λ — длина отката.

При накате этот объем будет выбран поршнем тормоза на некотором пути наката ρ, следовательно,

$$\frac{\pi d^2}{4}\lambda = \frac{\pi D^2}{4}\rho, \tag{238}$$

где D — диаметр поршня тормоза.

Отсюда находим путь наката ρ, соответствующий моменту выбора вакуума в цилиндре тормоза отката:

$$\rho = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \lambda. \tag{239}$$

Так как

$$\frac{D}{d} = u,$$

то окончательно

$$\rho = \frac{\lambda}{u^2}. \tag{240}$$

Принимая во внимание все предыдущие замечания относительно сил, действующих на откатные части во время наката, можем написать уравнение движения откатных частей при накате в следующем виде:

для периода ускоренного наката (первый период)

$$\frac{Q_0}{g}\xi_t'' = r = \Pi - \Phi_н' - R_f' > 0; \tag{241}$$

для периода замедленного наката (второй период)

$$\frac{Q_0}{g}\xi_t'' = r = \Pi - \Phi_н' - \Phi_0' - R_f' < 0; \tag{242}$$

здесь ξ — путь наката;

r — равнодействующая всех сил, действующих на откатные части.

На рис. 226 дана схема торможения наката, относящаяся к рассматриваемому случаю.

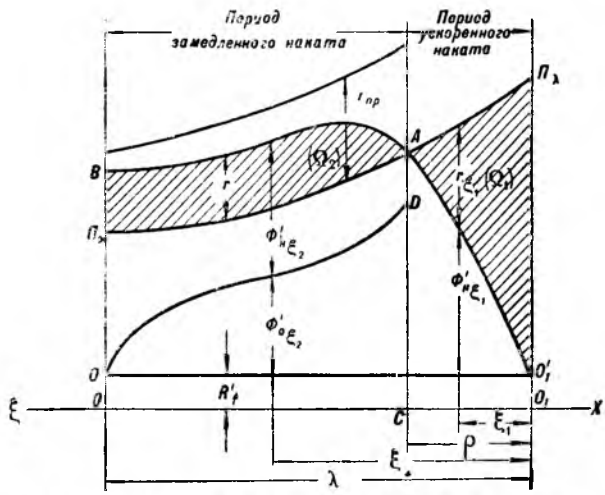


Рис. 226. Схема взаимодействия сил при накате

На схеме линия $\Pi_0\Pi_\lambda$ представляет график силы накатника (политропа). При пружинном накатнике линия $\Pi_0\Pi_\lambda$ будет прямая.

Прямая $O_1'O'$ — график силы R_f', принимаемой постоянной на всей длине наката.

Кривая $O_1'A$ — график силы тормоза наката в первом периоде.

Кривая AB — график равнодействующей r во втором периоде.

Кривая DO' — график силы тормоза отката во втором периоде.

r_{ξ_1} — равнодействующая r в первом периоде при $\xi = \xi_1$.

$\Phi'_{н\xi_1}$ — сила тормоза наката в первом периоде при $\xi = \xi_1$.

$\Phi'_{0\xi_2}$ — сила тормоза отката во втором периоде при $\xi = \xi_2$.

$\Phi'_{н\xi_2}$ — сила тормоза наката во втором периоде при $\xi = \xi_2$.

Площадь фигуры $A\Pi_\lambda O_1'$, заштрихованная на схеме и обозначенная через Ω_1, графически представляет работу равнодействующей r в первом периоде (ускоренный накат), которая равна энергии наката, накопленной откатными частями в этом периоде, т. е.

$$\Omega_1 = \int_0^\rho r d\xi = \frac{Q_0}{g} \cdot \frac{u^2_{max}}{2}, \tag{243}$$

где u_{max} — наибольшая скорость наката, или скорость в конце первого периода при $\xi = \rho$.

$$r = \Pi - \Phi'_н - R'_f. \tag{244}$$

Площадь фигуры $BA\Pi_0$, заштрихованная на схеме и обозначенная через Ω_2, графически представляет работу равнодействующей r во втором периоде (замедленный накат).

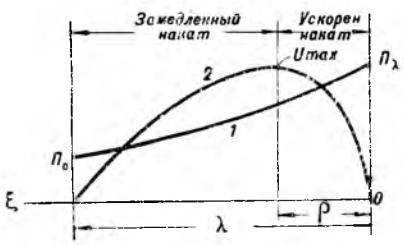


Рис. 227. График скорости наката:
1 — кривая силы накатника; *2* — кривая скоростей наката

$$\Omega_2 = \int_\rho^\lambda r d\xi, \tag{245}$$

причем

$$r = \Phi'_0 + \Phi'_н + R'_f - \Pi. \tag{246}$$

Так как в конце наката скорость наката должна быть равна нулю, то, очевидно, энергия наката в конце первого периода, определяемая выражением (243), должна равняться работе равнодействующей r во втором периоде, определяемой выражением (245). Следовательно,

$$\Omega_1 = \Omega_2. \tag{247}$$

График скоростей наката u при данной схеме торможения может быть представлен так, как показано на рис. 227.

2. Сопротивление накату

Положим, что выстрел производится при угле возвышения $\varphi > 0$. Тогда сопротивление накату $R_н$ можно представить в виде:

$$R_н = Q_0 \sin\varphi + fQ_0 \cos\varphi + \nu Q_0, \tag{248}$$

или

$$R_н = Q_0(\sin\varphi + f\cos\varphi + \nu). \tag{249}$$

Из выражения (249) видно, что сила $R_н$ является функцией угла возвышения φ (величина ее убывает с уменьшением угла возвышения).

Заменяя в выражении (249) силы трения $fQ_0 \cos\varphi$ и νQ_0 общей равнодействующей R'_f, получим для определения этой величины следующую формулу:

$$R'_f = Q_0 (f \cos\varphi + \nu), \tag{250}$$

причем значение коэфициента ν в этой формуле следует принимать несколько меньшим того, какое было принято при расчете тормоза отката.

3. Устойчивость орудия при накате

Так как сопротивление накату падает с уменьшением угла возвышения, а сила накатника не зависит от угла возвышения, то при накате под углом $\varphi = 0$ получим в накатнике наибольшую величину избытка энергии накатника, что может вызвать так называемый „наброс орудия", или стремление орудия выкатиться вперед и потерять устойчивость.

Поэтому рассмотрим накат орудия при угле возвышения $\varphi = 0$ как случай, наиболее неблагоприятный с точки зрения устойчивости орудия при накате (рис. 228).

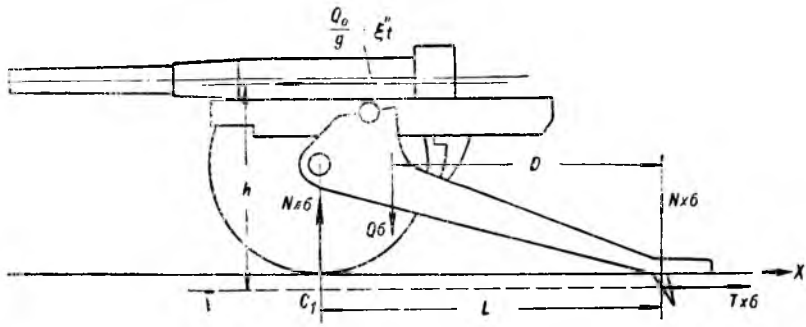


Рис. 228. Схема к вопросу устойчивости при накате

Положим, что:

1) орудие установлено на горизонтальном основании;

2) реакция грунта на сошник все время надежно удерживает лафет от смещения по основанию;

3) орудие в течение всего периода наката сохраняет устойчивость.

На орудие во время наката будут действовать силы:

$$Q_б;\ N_{лб};\ N_{хб} \text{ и } T_{хб}.$$

Чтобы можно было рассматривать орудие во время наката находящимся в равновесии, к внешним силам, действующим на орудие, следует прибавить еще силу инерции откатных частей $-\frac{Q_0}{g}\xi''_t$. Эта сила инерции равна равнодействующей сил, действующих на откатные части, приложена к их центру тяжести и направлена в сторону, обратную ускорению откатных частей.

Напишем уравнения равновесия в виде:

$$-\frac{Q_0}{g}\xi''_t + T_{хб} = 0; \tag{251}$$

$$-\frac{Q_0}{g}\xi''_t h + Q_б (L - D) - N_{хб} L = 0. \tag{252}$$

Уравнение (251) есть уравнение проекций всех сил на ось OX, направление которой показано на рис. 228, а уравнение (252) — уравнение моментов всех сил относительно точки C_1 пересечения вертикали, проходящей через ось колеса, с линией действия составляющей $T_{хб}$.

Знак минус перед выражением силы инерции $\frac{Q_0}{g}\xi_t''$ указывает на то, что рассматривается период замедленного наката (второй период), когда направление силы инерции совпадает с направлением наката и когда она стремится выкатить все орудие вперед и, кроме того, повернуть его дулом вниз вокруг линии опоры колес.

Имея в виду, что

$$\frac{Q_0}{g}\xi_t'' = r, \tag{253}$$

можем написать:

$$-r + T_{хб} = 0; \tag{254}$$

$$-rh + Q_б(L - D) - N_{хб}L = 0, \tag{255}$$

откуда находим:

$$T_{хб} = r; \tag{256}$$

$$N_{хб} = \frac{Q_б(L - D) - rh}{L}. \tag{257}$$

Уравнение (256) определяет величину и направление горизонтальной реакции грунта на сошник $T_{хб}$. Как видно, в рассматриваемый нами период наката эта реакция направлена в сторону отката, и следовательно, сошник лафета работает своей передней стороной.

Уравнение (257) определяет величину и направление вертикальной реакции грунта на хобот лафета $N_{хб}$.

Если при накате реакция $T_{хб}$ равна по величине равнодействующей r сил, приложенных к откатным частям, то орудие не будет перемещаться по основанию, и тогда уравнение (256) можно рассматривать как условие неподвижности орудия в периоде замедленного наката.

Что касается реакции $N_{хб}$, то в случае устойчивого орудия она будет больше нуля или в предельном случае равна нулю.

Тогда вместо уравнения (257) будем иметь:

$$Q_б(L - D) - rh \geqslant 0. \tag{258}$$

Формула (258) представляет условие устойчивости орудия в период замедленного наката.

На пределе устойчивости наравенство (258) превратится в равенство

$$Q_б(L - D) = r_{пр}h, \tag{259}$$

откуда находим предельное значение равнодействующей $r_{пр}$, допустимое с точки зрения устойчивости орудия при накате под углом возвышения $\varphi = 0$:

$$r_{пр} = \frac{L - D}{h} Q_б. \tag{260}$$

Преобразуем уравнение (260).

Рассуждая аналогично тому, как это было сделано на стр. 309, можно написать:

$$D = D_0 - \frac{Q_0}{Q_б} X. \tag{261}$$

Заменяя в уравнении (260) величину D ее значением из выражения (261), получим:

$$r_{пр} = \frac{L - D_0 + \frac{Q_0}{Q_б}X}{h} Q_б$$

и окончательно

$$r_{пр} = \frac{Q_б(L - D_0) + Q_0X}{h}. \tag{262}$$

Из рассмотрения последнего выражения следует, что $r_{пр}$ изменяется по линейному закону в зависимости от положения откатных частей при накате, причем величина $r_{пр}$ убывает по мере наката (рис. 226). Следовательно, чем дальше отстоят откатные части от исходного положения до выстрела, тем больше может быть допущена величина равнодействующей $r_{пр}$ без нарушения устойчивости орудия.

Устойчивость орудия в первом периоде наката сомнений не вызывает по той причине, что действие сил на орудие в этом периоде аналогично действию сил во втором периоде отката, и если орудие было устойчивым при откате, то оно подавно будет устойчивым и в первом периоде наката, так как равнодействующая r обычно значительно меньше силы сопротивления откату R.

4. Общие соображения по расчету тормоза наката

К расчету наката приступают после того, как закончен расчет тормоза отката и накатника и, следовательно, установлены тип, конструкция и размеры, определяющие их работу при откате.

В задачу конструктора при расчете наката входят:

1) установление закона торможения наката;

2) расчет тормоза наката.

В тормозах отката веретенного типа торможение наката осуществляется главным образом тормозом наката на всем его пути, и этот тормоз наката представляет обычно сочетание клапана модератора с канавками переменной глубины на поверхности канала в штоке тормоза отката.

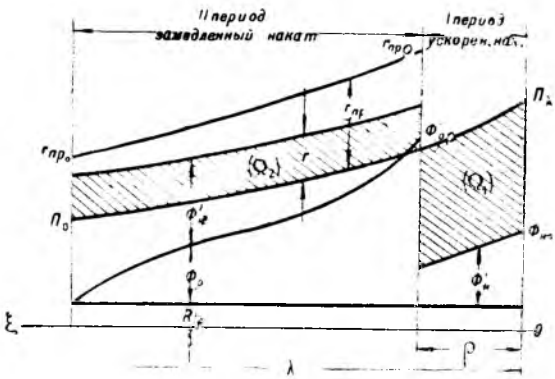


Рис. 229. Схема торможения наката при тормозе веретенного типа (r — постоянное)

Цель расчета тормоза наката в данном случае заключается в определении профиля канавок, обеспечивающего принятый закон торможения.

В тормозах отката неверетенного типа торможение наката осуществляется на некоторой части его длины главным образом игольчатым тормозом наката, представляющим обычно сочетание иглы переменного сечения с отверстием канала в штоке тормоза отката.

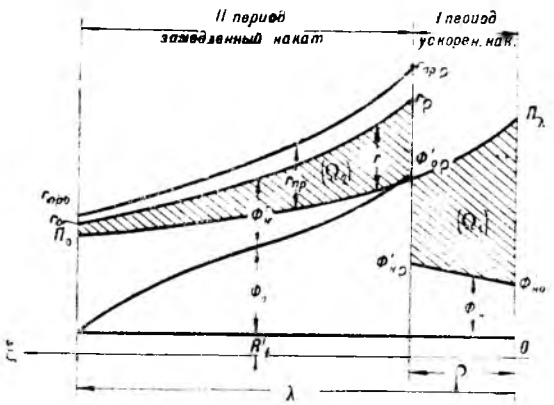


Рис. 230. Схема торможения наката при тормозе веретенного типа (r — переменное)

В данном случае цель расчета тормоза наката заключается в определении профиля иглы, обеспечивающего принятый закон торможения.

Так как тормоз отката участвует в торможении наката и так как конструктивные размеры его (рабочая площадь поршня, отверстия истечения) устанавливаются при расчете отката, то на эти размеры при расчете наката следует смотреть как на установленные и не подлежащие изменению. Режим работы тормоза отката во время наката, обусловлен-

ный указанными конструктивными размерами, будет определять выбор общей схемы торможения наката.

При расчете тормоза наката в орудиях на колесном лафете закон торможения наката устанавливается, исходя из требования сохранения устойчивости орудия при накате. При этом величина равнодействующей r во втором периоде наката принимается либо постоянной на всем периоде, либо изменяющейся по линейному закону в зависимости от пути откатных частей. В том и другом случаях значение r должно удовлетворять условию

$$r < r_{пр}.$$

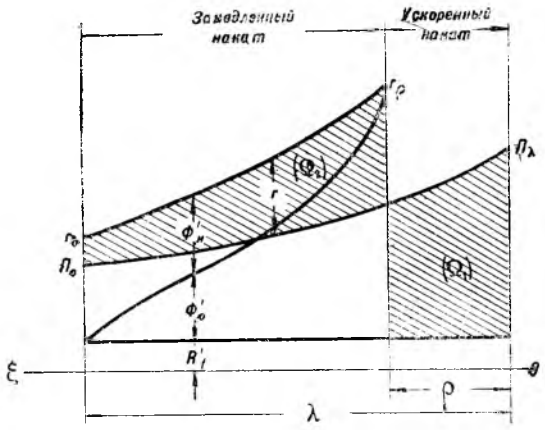


Рис. 231. Схема торможения наката при тормозе неверетенного типа

Схемы торможения наката при наличии тормоза отката веретенного типа с тормозом наката, действующим на всей длине наката, показаны на рис. 229 и 230.

При расчете тормоза наката игольчатого типа в стационарных установках закон торможения наката устанавливают, исходя из требования получения наименьших напряжений в деталях лафета, и чаще всего принимают величину равнодействующей r во втором периоде наката постоянной на всем периоде.

Схема торможения наката в тормозах отката неверетенного типа с игольчатым тормозом наката показана на рис. 231, причем величина равнодействующей r во втором периоде изменяется по линейному закону.

5. Торможение наката в стационарных установках

Для более полного представления о характере расчета тормоза наката рассмотрим торможение наката в стационарных установках, как случай, наиболее простой в практике проектирования артиллерийских орудий.

Положим, что имеется тормоз отката неверетенного типа с игольчатым тормозом наката. Тормоз отката и тормоз наката вступают в действие с момента выбора вакуума в цилиндре тормоза отката.

Наивыгоднейшая схема торможения наката для этого случая изображена на рис. 232, где:

кривая $П_0П_λ$ — кривая силы накатника П;

rr — кривая полного гидравлического сопротивления при накате $Φ_н$;

$$Φ_н = Φ'_0 + Φ'_н;$$

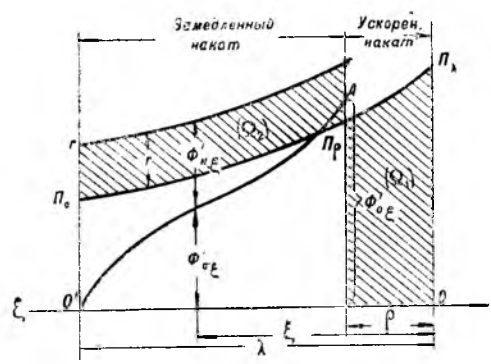


Рис. 232. Схема торможения к расчету тормоза наката

$O'A$ — кривая сопротивления тормоза отката при накате $Φ'_0$.

Для простоты предположим, что накат происходит при угле возвышения $φ = 0$. Силой трения R'_f на направляющих и в уплотнительных устройствах пренебрегаем.

Согласно схеме накат на длине ρ, отвечающей моменту выбора вакуума в цилиндре тормоза отката, будет свободный, а на длине $\lambda - \rho$ он будет тормозиться равнодействующей r, сохраняющей постоянное значение. В этом случае в лафете будут наименьшие напряжения.

Так как скорость наката в конце его должна быть равна нулю, то заштрихованные площади Ω_1 и Ω_2, выражающие соответственно энергию наката, приобретенную откатными частями на пути ρ (ускоренный накат), и работу равнодействующей r на длине $\lambda - \rho$ (замедленный накат), должны быть равновелики.

Энергия наката к концу периода ускоренного наката будет определяться равенством

$$\Omega_1 = \frac{Q_0}{g} \cdot \frac{u_{max}^2}{2} = \frac{\Pi_\lambda + \Pi_\rho}{2} \rho, \quad (263)$$

где u — скорость наката.

Работа равнодействующей r в периоде замедленного наката определится из равенства

$$\Omega_2 = r(\lambda - \rho). \quad (264)$$

Приравняв полученные выражения, находим выражение для равнодействующей r в периоде замедленного наката:

$$r = \frac{\rho}{2(\lambda - \rho)} (\Pi_\lambda + \Pi_\rho). \quad (265)$$

Далее из равенства (263) получим выражение для квадрата наибольшей скорости наката:

$$u_{max}^2 = \frac{g\rho (\Pi_\lambda + \Pi_\rho)}{Q_0}. \quad (266)$$

Сила тормоза отката в момент выбора вакуума найдется по формуле Канэ:

$$\Phi'_{0\rho} = \frac{k\gamma A_т'^3 u_{max}^2}{20 g a_\rho^2}, \quad (267)$$

где $A'_т$ — рабочая площадь поршня тормоза отката при накате (см. рис. 224):

$$A'_т = \frac{\pi}{4} D^2; \quad (268)$$

a_ρ — отверстие истечения тормоза отката в момент выбора вакуума (находится интерполированием по графе 7 таблицы 62).

Для осуществления принятой схемы торможения наката необходимо иметь

$$\Phi'_{0\rho} \leqslant \Pi_\rho + r. \quad (269)$$

Это неравенство является условием применимости данной схемы торможения.

Пользуясь рассуждениями, аналогичными изложенным на стр. 328 при определении величины V^2 во втором периоде отката при $R = \text{const}$, находим далее выражение для квадрата скорости наката в периоде замедленного наката:

$$u_\xi^2 = \frac{2gr(\lambda - \xi)}{Q_0}. \quad (270)$$

Величина силы тормоза отката, отвечающая пути наката ξ, определяется по формуле

$$\Phi'_{0\xi} = \frac{k\gamma A_т'^3 u_\xi^2}{20 g a_\xi^2}, \quad (271)$$

где a_ξ — площадь отверстия истечения в тормозе отката, соответствующая пути наката ξ.

* Кривую $\Pi_\rho \Pi_\lambda$ принимаем за прямую.

Из схемы непосредственно видно, что сила тормоза наката для того же пути наката ξ равна

$$\Phi'_{н\xi} = \Pi + r - \Phi'_{0\xi}. \tag{272}$$

Подставляя в формулу (272) значения Π, r и $\Phi'_{0\xi}$, отвечающие различным значениям пути наката ξ, можно определить величину силы $\Phi'_{н\xi}$ для этих значений ξ и далее найти соответствующую величину отверстия истечения в тормозе наката по формуле

$$a_н = \frac{\sqrt{\frac{k\gamma A_н^3}{20g}}}{\sqrt{\frac{\Phi'_{н\xi}}{u_\xi^2}}}, \tag{273}$$

где $A_н$ — рабочая площадь тормоза наката:

$$A_н = \frac{\pi}{4}\delta^2; \tag{274}$$

$\Phi'_{н\xi}$ и u_ξ^2 — сила тормоза наката на пути наката ξ и соответствующий квадрат скорости наката; $\Phi'_{н\xi}$ определяется по уравнению (272), а u_ξ^2 — по формуле (270).

Имея ряд значений $a_н$, можно затем построить профиль иглы, обеспечивающий принятый закон торможения наката.

Для приближенного определения продолжительности периода ускоренного наката пользуются формулой

$$t_р = \frac{2Q_0 u_{max}}{g(\Pi_\lambda + \Pi_р)}. \tag{275}$$

Для определения продолжительности периода замедленного наката служит формула

$$t_2 = \frac{Q_0 u_{max}}{gr}. \tag{276}$$

Продолжительность наката орудия будет:

$$t_н = t_р + t_2. \tag{277}$$

Общая продолжительность цикла откат — накат будет:

$$t_{выстр} = t_{от} + t_н. \tag{278}$$

ГЛАВА IX

УСИЛИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЯХ ЛАФЕТА ПРИ ВЫСТРЕЛЕ И ВО ВРЕМЯ НАВОДКИ

1. Определение реакций, действующих на качающуюся часть орудия

При исследовании действия выстрела на современное артиллерийское орудие установлено, что в общем случае действие выстрела может быть приведено к паре сил с моментом $P_{кп}e$ и к силе R, равной по величине сопротивлению откату, приложенной к центру тяжести откатных частей и направленной в сторону отката.

На основании этого положения можно считать, что на качающуюся часть в плоскости стрельбы будут действовать следующие силы и моменты:

$P_{кн}e$ — момент динамической пары, вращающий качающуюся часть дулом вверх, если центр тяжести откатных частей лежит ниже оси канала ствола;

R — сила, равная по величине сопротивлению откату;

$Q_к$ — вес качающейся части;

S — реакция лафета на цапфы;

U — реакция зубца шестерни подъемного механизма на зубец сектора подъемного механизма.

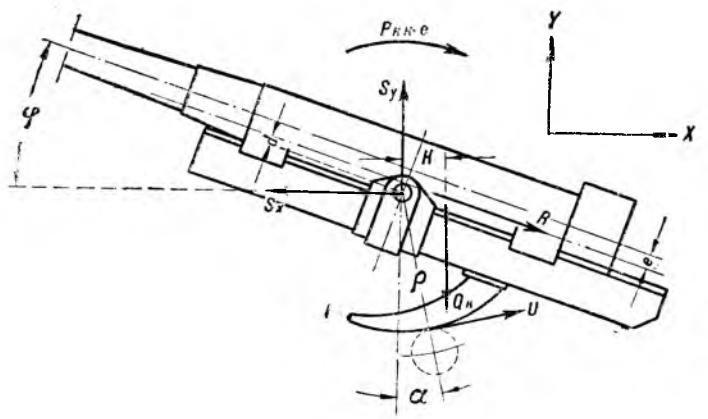


Рис. 233. Схема действия сил на качающуюся часть

Рассматривая случай стрельбы под углом возвышения $\varphi > 0$ и принимая направление координатных осей, как показано на рис. 233, можно написать уравнения равновесия качающейся части в следующем виде:

$$R\cos\varphi + U\cos\alpha - S_x = 0; \tag{279}$$

$$-R\sin\varphi - Q_к + U\sin\alpha + S_y = 0; \tag{280}$$

$$P_{кн}e + Rd + Q_к k - U\rho = 0, \tag{281}$$

где S_x и S_y — проекции реакции S на оси OX и OY соответственно;

d и k — плечи действия сил R и $Q_к$ относительно оси цапф;

ρ — радиус начальной окружности сектора;

α — угол между вертикалью и направлением радиуса ρ.

Решая эти уравнения относительно неизвестных реакций S_x, S_y и U, получим:

$$S_x = R\cos\varphi + U\cos\alpha; \tag{282}$$

$$S_y = Q_к + R\sin\varphi - U\sin\alpha; \tag{283}$$

$$U = \frac{P_{кн}e + Rd + Q_к k}{\rho}. \tag{284}$$

Момент $Q_к k$ в течение отката меняет свою величину. Этот момент может быть представлен в виде

$$Q_к k = Q_к k_0 + Q_0 X\cos\varphi, \tag{285}$$

где k_0 — плечо веса $Q_к$ относительно оси цапф до выстрела;

X — путь отката.

После подстановки значения $Q_к k$ в выражение (284) получим:

$$U = \frac{P_{кн} e + Rd + Q_к k_0 + Q_0 X \cos\varphi}{\rho}. \qquad (286)$$

Из рассмотрения полученной формулы следует, что для уменьшения реакции U необходимо, чтобы плечо $e = 0$, а ось цапф находилась на высоте центра тяжести откатных частей.

Как видно, реакция U может получить наибольшее значение или в момент P_{max}, или в момент конца отката при $X = \lambda$.

Формула (286) применяется при расчетах подъемного механизма.

После того как найдена реакция U, определяют величину реакции S, действующей на цапфы, имея в виду, что эта реакция равна

$$S = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}, \qquad (287)$$

где S_x и S_y определяются по формулам (282) и (283).

Зная наибольшую величину реакции S, можно рассчитать прочные размеры цапф.

2. Определение реакций, действующих на вращающуюся часть орудия

Положим, что имеем тумбовую установку (рис. 234). Рассмотрим действие выстрела на вращающуюся часть орудия при стрельбе под углом возвышения $\varphi = 0$.

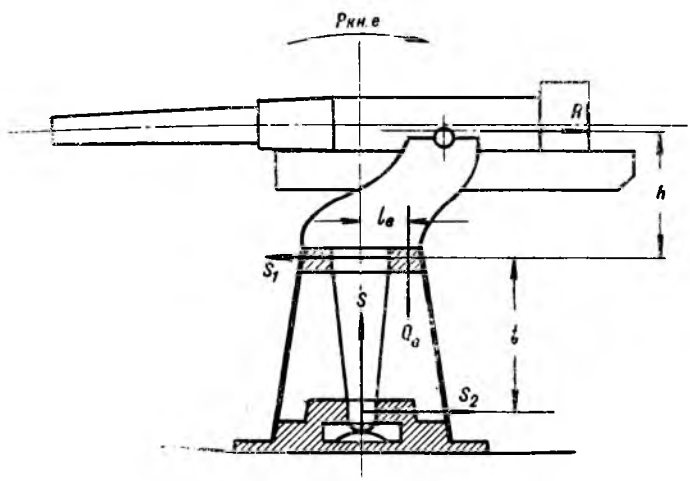


Рис. 234. Схема действия сил на вращающуюся часть

Во время выстрела на вращающуюся часть будут действовать в плоскости стрельбы следующие силы и реакции:

$P_{кн} e$ — момент динамической пары;

R — сила, равная по величине сопротивлению откату;

$Q_в$ — вес вращающейся части орудия;

S_1 и S_2 — соответственно реакции верхнего и нижнего подшипников;

S — реакция нижней опоры (подпятника).

Условия равновесия вращающейся части можно написать в следующем виде:

$$\left.\begin{aligned} &R - S_1 + S_2 = 0 \\ &Q_в - S = 0 \\ &P_{кн} e + Rh + Q_в l_в - S_2 l = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (288)$$

где h, $l_в$, l — соответствующие плечи действия сил и реакций, как показано на рис. 234, относительно средней точки верхнего подшипника.

Решая уравнения (288) относительно реакций S_1, S_2 и S, найдем:

$$\left.\begin{aligned} &S = Q_ц \\ &S_1 = S_2 + R \\ &S_2 = \frac{P_{кн} e + Rh + Q_в l_в}{l} \end{aligned}\right\} \qquad (289)$$

Из уравнений (289) следует, что для уменьшения реакций S_1 и S_2 целесообразно:

1) уменьшать плечо e;
2) уменьшать плечо $l_в$;
3) увеличивать расстояние l (высоту штыря).

Эти уравнения служат для расчета прочных размеров штыря и тумбы.

3. Определение усилий, необходимых для наводки орудия

Механизмы наводки орудия предназначаются для придания оси канала ствола положения в пространстве, соответствующего условиям стрельбы по заданной цели.

К механизмам наведения относятся подъемный механизм и поворотный механизм.

С точки зрения служебного пользования к механизмам наводки предъявляются следующие требования:

1) несбиваемость наводки при выстреле;
2) скорость наводки;
3) легкость наводки;
4) наибольшая величина сектора обстрела.

Несбиваемость наводки обеспечивается способностью механизма к самоторможению.

Скорость наводки определяется величиной угла перемещения оси канала ствола в 1 секунду при работе на механизме и выражается в градусах в секунду (°/сек).

В современных артиллерийских орудиях скорость наводки колеблется в очень широких пределах: от 0,5°/сек до 7,5°/сек. В зенитных орудиях она доходит до 15°/сек.

Легкость наводки определяется величиной усилия на маховике механизма, которое необходимо для выполнения наводки с заданной скоростью, и выражается в килограммах.

В ручных приводах это усилие не должно превышать 3—4 *кг* при продолжительной работе и 7—8 *кг* при непродолжительной работе, а также при страгивании с места и сообщении ускорения при „разгоне орудия".

Сектор обстрела определяется величиной углов φ_{min} и φ_{max} — для подъемного механизма и угла горизонтального обстрела ψ — для поворотного.

Величина сектора обстрела зависит от назначения данного орудия и имеет решающее значение для выбора общей схемы лафета.

Механизмы наведения обычно состоят из ряда передаточных звеньев. Для удовлетворения требования несбиваемости наводки при выстреле в число передаточных звеньев должна обязательно входить самотормозящая пара (червячная, винтовая).

На рис. 235 изображена принципиальная схема устройства поворотного механизма, а на рис. 236 — подъемного механизма секторного типа.

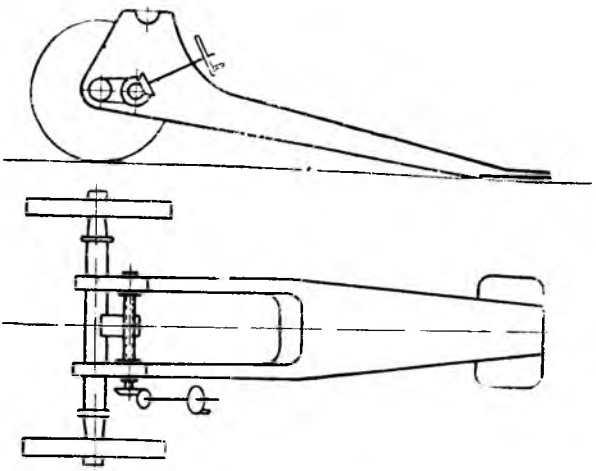


Рис. 235. Схема поворотного механизма

Произведем расчет усилий, необходимых для наведения орудия. Для примера возьмем схему подъемного механизма, показанную на рис. 236.

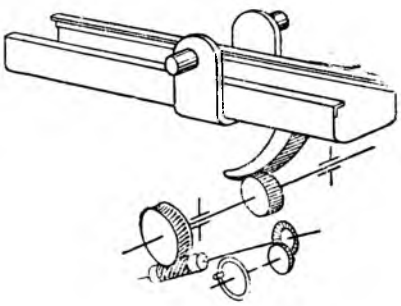


Рис. 236. Схема подъемного механизма

При наводке необходимо преодолеть главным образом следующие сопротивления:

1) сопротивление в цапфах;

2) сопротивление от неполной уравновешенности качающейся части относительно оси цапф;

3) сопротивление в передачах.

Кроме того, в начальный период наводки, а также при ускорении наводки приходится затрачивать дополнительное усилие на сообщение ускорения качающейся части. Это усилие называют „усилием разгона".

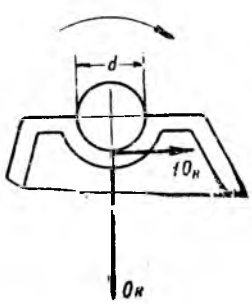


Рис. 237. Схема для определения $M_ц$ на цапфах

Найдем прежде всего величину передаточного числа привода от маховика на зубчатый сектор подъемного механизма в зависимости от заданной скорости наводки и числа оборотов маховика.

Обозначая через:

φ' — заданную скорость наводки в °/сек;

n — число оборотов маховика в минуту;

i — общее передаточное число механизма, будем иметь такое соотношение между указанными величинами:

$$i = \frac{360n}{60\varphi'} = \frac{6n}{\varphi'}. \qquad (290)$$

В данной схеме механизма:

$$i = i_1\ i_2\ i_3,$$

где i_1 — передаточное число между сектором и шестерней вала;

i_2 — передаточное число червячной передачи;

i_3 — передаточное число пары конических шестерен.

Число оборотов n принимается обычно в пределах от 90 до 120 в минуту.

Обозначим:

$Q_к$ — вес качающейся части (рис. 237);
d — диаметр цапфы;
f — коэфициент трения в цапфах.

Момент трения в цапфах $M_ц$ будет:

$$M_ц = fQ_к \frac{d}{2}. \tag{291}$$

Усилие p_1 на маховике, необходимое для преодоления момента $M_ц$, найдется из равенства

$$p_1 = \frac{M_ц}{i\rho\eta} = \frac{fQ_к d}{2i\rho\eta}, \tag{292}$$

где ρ — радиус маховика механизма;
η — общий коэфициент полезного действия механизма, равный произведению коэфициентов полезного действия передач привода:

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3, \tag{293}$$

причем:

для цилиндрических шестерен $\eta_1 = 0{,}92 \div 0{,}95$;
для червячной передачи $\eta_2 < 0{,}50$;
для конических шестерен $\eta_3 = 0{,}90$.

Усилие p_2 на маховике, необходимое для преодоления момента неуравновешенности качающейся части, найдется по формуле, аналогичной (292):

$$p_2 = \frac{\Delta M_к}{i\rho\eta}, \tag{294}$$

где $\Delta M_к$ — момент неуравновешенности (см. § 4) качающейся части относительно оси цапф.

Усилие p_3 на маховике, необходимое для преодоления инерции качающейся части в период разгона, найдем из следующих рассуждений.

Живая сила вращательного движения качающейся части будет:

$$\frac{I\omega^2}{2}, \tag{295}$$

где I — момент инерции качающейся части относительно оси цапф;
ω — угловая скорость наводки в 1 сек.

Эта живая сила должна равняться работе на маховике механизма в течение времени разгона t в секундах:

$$\frac{1}{2}\eta p_3 \cdot 2\pi\rho \frac{nt}{60}. \tag{296}$$

Приравнивая выражения (295) и (296), определяем искомое усилие разгона:

$$p_3 = \frac{30 I\omega^2}{\eta\pi\rho t n}, \tag{297}$$

где

$$\omega = \frac{\pi\omega^1}{180}. \tag{298}$$

Общее усилие на маховике подъемного механизма будет:

$$P_м = p_1 + p_2 + p_3. \tag{299}$$

---

* Предполагается, что угловое ускорение на маховике $\varepsilon_м = \text{const}$.

Полученная в расчете величина $P_м$ не должна превосходить ранее указанной цифры (7—8 *кг*).

Общий ход расчета усилий на маховике поворотного механизма принципиально ничем не отличается от приведенного выше.

4. Уравновешивающий механизм

Уравновешивающий механизм предназначается для компенсирования момента неуравновешенности качающейся части относительно оси цапф в том случае, если последняя не проходит через центр тяжести качающейся части. Это компенсирование необходимо для облегчения работы наводчика при выполнении вертикальной наводки орудия.

Идея устройства компенсатора пружинного типа пояснена схемой рис. 238, где:

точка O — ось цапф;

точка G — центр тяжести качающейся части;

$l_к$ — плечо веса качающейся части $Q_к$ относительно оси цапф;

h — плечо силы пружины компенсатора P относительно оси цапф;

ψ — угол между горизонтом и плечом $l_к$;

A — подвижной шарнир компенсатора, связанный с качающейся частью;

B — неподвижный шарнир компенсатора, связанный с верхним станком.

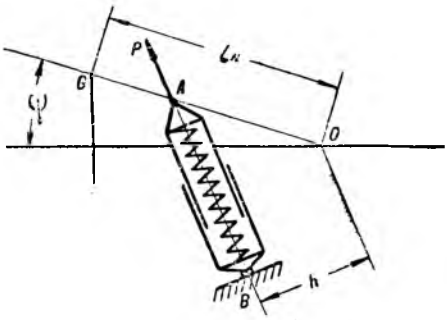


Рис. 238. Уравновешивающий механизм (схема)

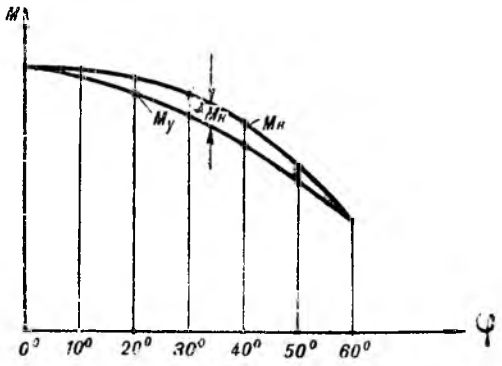


Рис. 239. Диаграмма моментов $M_к$ и M_y

Как видно из схемы, момент силы P компенсатора относительно оси цапф, равный Ph, противодействует моменту веса качающейся части, равному $Q_к l_к \cos\psi$, относительно той же оси. Вследствие этого устраняется влияние неуравновешенности качающейся части относительно оси цапф на вертикальную наводку орудия. Поэтому последняя может быть выполнена при сравнительно небольшом усилии на маховике подъемного механизма.

Различают полное уравновешивание качающейся части и неполное уравновешивание.

В первом случае момент веса $Q_к$ полностью компенсируется моментом, создаваемым компенсатором при всех углах возвышения в пределах сектора вертикального обстрела, а во втором случае компенсирование достигается только для некоторых углов возвышения φ в пределах указанного сектора (для двух или трех), например, для угла $\varphi = 0$ и $\varphi = \varphi_{max}$.

Теоретически полное уравновешивание с помощью пружинного компенсатора можно осуществить только при соблюдении некоторых условий; вследствие этого очень часто на практике удовлетворяются неполным уравновешиванием.

В последнем случае разность $\Delta M_к$ (рис. 239) между моментом веса качающейся части $Q_к l_к \cos\psi$ и моментом силы компенсатора Ph называют

моментом неуравновешенности, и наибольшее значение $\Delta M_к$ принимают в расчет при определении усилий на маховике подъемного механизма (см. § 3).

Диаграмма моментов $Q_к l_к \cos\psi$ и Ph в случае уравновешивания при двух углах (0° и 60°) дана на рис. 239, причем:

$$M_к = Q_к\, l_к \cos\psi; \tag{300}$$

$$M_y = Ph; \tag{301}$$

$$\Delta M_к = M_к - M_y. \tag{302}$$

Полное уравновешивание теоретически можно осуществить при помощи „улитки", представляющей кулачок фигурного профиля и закрепленной на оси цапф. На последнюю наматывается трос, передающий усилие компенсатора (рис. 240).

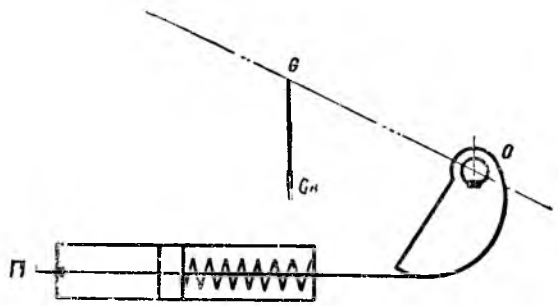


Рис. 240. Схема уравновешивающего механизма типа „улитки"

Профиль „улитки" рассчитывается так, чтобы при всех углах возвышения φ удовлетворялось условие равенства моментов $M_к$ и M_y.

ГЛАВА X

ЛАФЕТ КАК ПОВОЗКА

Лафет, снабженный ходовыми частями, имеет обычно двоякое назначение.

Во время стрельбы лафет является боевым станком, на котором покоится ствол, а во время передвижения орудия на походе он (в сочетании с передком) представляет повозку, на которой перевозится ствол.

С точки зрения последнего назначения к лафету предъявляются следующие требования:

1) проходимость, т. е. способность беспрепятственно проходить по мостам, дорогам всех типов и по грунту;

2) легкость на ходу;

3) поворотливость, т. е. способность поворачиваться и обходить препятствия на небольшом участке местности;

4) устойчивость, т. е. способность не опрокидываться на косогорах;

5) гибкость продольная и поперечная, т. е. способность преодолевать поперечные и продольные неровности местности;

6) живучесть, т. е. способность выдерживать продолжительные переходы на разнообразных скоростях передвижения;

7) быстрота перехода из походного положения в боевое и обратно.

Кроме того, лафет должен иметь механизмы:

1) крепления по-походному;

2) торможения.

К лафетам горной артиллерии предъявляются еще требования приспособленности к перевозке на вьюках.

Проходимость характеризуется величиной удельного давления p колес (гусениц) на грунт и величиной клиренса c, или расстоянием самой нижней точки лафета на походе от полотна дороги.

Величина удельного давления P зависит от:

а) нагрузки, приходящейся на ход Q_x;

б) ширины шины b;

в) диаметра колеса D.

На практике ввиду незначительных колебаний в диаметре колес D принято понимать под удельным давлением на грунт (при двухколесном ходе) величину

$$p = \frac{Q_x}{2b}. \tag{303}$$

Величина p не должна превосходить 70—90 *кг/см*^{2}.

Уменьшение значения p достигается рациональным размещением груза на передний и задний ходы и соответствующим выбором конструкции последних (колеса простые, спаренные, колесные тележки, гусеничный ход).

Величина клиренса c колеблется от 260 до 400 *мм* и указывается в тактико-технических требованиях на проектирование как одна из основных характеристик орудия.

Легкость на ходу характеризуется величиной усилия тяги P, необходимого для передвижения повозки при установившемся движении.

Для четырехколесной повозки, что имеет место при перевозке артиллерийского орудия, величина усилия тяги P определяется по формуле

$$P = Q(\sin\alpha + f' \cos\alpha), \tag{304}$$

где Q — вес повозки (вес орудия в походном положении);

α — угол подъема полотна дороги;

f' — общий коэфициент трения повозки[1], принимаемый для грунтовых дорог 0,08 ÷ 0,16, по сыпучему песку 0,15 ÷ 0,30.

Величина P колеблется в пределах 50 — 100 *кг*.

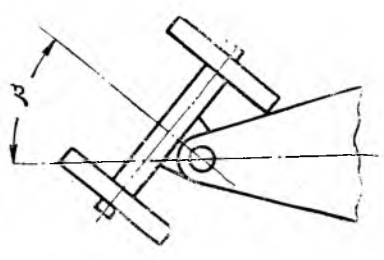


Рис. 241. Схема к вопросу поворотливости

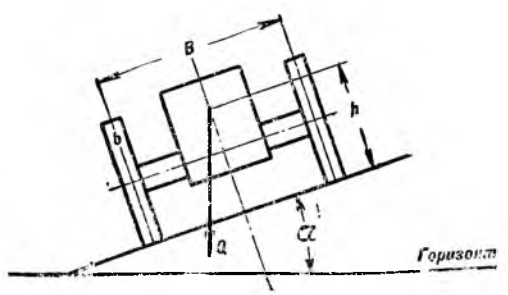


Рис. 242. Схема к вопросу устойчивости

Уменьшение значения P достигается увеличением диаметра колес D, увеличением ширины шины b, уменьшением диаметра d концов оси и коэфициента трения между втулкой ступицы и концом оси.

Поворотливость характеризуется наибольшей величиной угла β, на который может повернуться передний ход относительно хобота лафета (рис. 241).

[1] Значение f' указывается в справочниках.

Угол β возрастает с увеличением ширины хода, с уменьшением диаметра колес переднего хода и с уменьшением ширины хоботовой части лафета, охватываемой колесами передка.

Угол β в дивизионной артиллерии доходит до 90°.

Устойчивость характеризуется наибольшей величиной угла наклона повозки $\alpha_{пр}$, при котором повозка будет находиться на пределе устойчивости, т. е. не будет еще опрокидываться (рис. 242).

Величина $\alpha_{пр}$ определяется по формуле

$$\alpha_{пр} = \varepsilon \operatorname{arc\,tg} \frac{B + b}{2h}, \qquad (305)$$

где B — ширина хода (расстояние между серединами шин);

b — ширина шины;

h — высота центра тяжести повозки;

ε — коэфициент надежности, учитывающий влияние инерционных сил при поворотах повозки; он равен 0,4 — 0,5.

Из формулы (305) видно, что для увеличения угла $\alpha_{пр}$ целесообразно увеличивать ширину хода B и ширину шины b и понижать центр тяжести повозки, уменьшая h.

Угол $\alpha_{пр}$ в орудиях дивизионной артиллерии составляет около 30°.

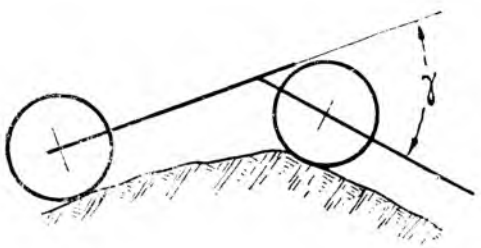


Рис. 243. Схема к вопросу продольной гибкости

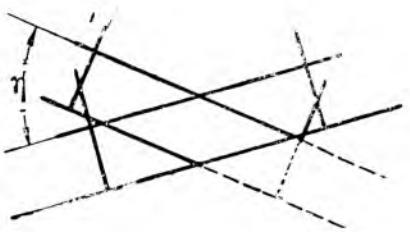


Рис. 244. Схема к вопросу поперечной гибкости

Гибкость продольная и поперечная. Гибкость продольная характеризуется наибольшим значением угла „излома" γ между направлениями дышла передка и станка лафета, допускаемым конструкцией соединения ходов (рис. 243). Угол „излома" γ в дивизионной артиллерии доходит до 60°.

Гибкость поперечная, или независимость ходов, характеризуется наибольшим значением угла „излома" η между осями переднего и заднего ходов, допускаемым соединением ходов (рис. 244).

В дивизионной артиллерии угол η доходит до 50°.

Величины углов γ и η зависят от способа соединения ходов.

Живучесть характеризуется наибольшей величиной скорости передвижения, выраженной в *км/час*, какую допускает лафет без повреждения или расстройства его механизмов.

При конной тяге, допускающей передвижение со скоростью порядка 5 — 10 *км/час*, напряжения в некоторых частях лафета, возникающие при возке, бывают сравнительно невелики, и обеспечить живучесть лафета нетрудно.

При механической тяге, допускающей передвижение со скоростями порядка 25—30 *км/час* и выше, в целях предохранения лафета от вредного действия возки, приходится в конструкцию вводить особый агрегат — подрессоривание, или переходить от колес с железными шинами на колеса с резиновой шиной, или, наконец, применить и то и другое вместе.

Подрессоривание осуществляется с помощью различного вида пружин или рессор.

Подрессоривание является действительным средством обеспечения живучести лафета, но оно обычно имеет тот недостаток, что требует выключения рессор на время стрельбы и обратного включения рессор на время похода и, следовательно, увеличивает время перехода из походного положения в боевое и обратно.

Быстрота перехода из походного положения в боевое и обратно. Это свойство характеризуется величиной промежутка времени, необходимого для перехода орудия из походного положения в боевое и обратно.

Для дивизионной артиллерии время перехода в боевое положение колеблется около 30—40 секунд. Время обратного перехода несколько меньше.

Механизмы крепления по-походному. Назначение этих механизмов сводится к закреплению различных агрегатов орудия по-походному.

Например, к механизмам крепления по-походному относятся всякого рода стопоры, зажимы, балки и т. д., скрепляющие жестко качающуюся часть орудия с верхним и вращающуюся—с нижним станком и предохраняющие механизмы наводки от действия инерционных нагрузок, возникающих при возке орудия на больших скоростях, в особенности при неровностях местности.

Механизмы торможения. Торможение орудия на спусках осуществляется:

а) клепнями;
б) подкладными башмаками;
в) колодковыми тормозами;
г) ленточными тормозами.

Описание этих тормозов приводится ниже.

ОТДЕЛ ВОСЬМОЙ

МАТЕРИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ АРТИЛЛЕРИЙСКИХ СИСТЕМ

★

ГЛАВА I

ТРЕБОВАНИЯ К ОРУДИЯМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

1. Батальонная и полковая артиллерия

Опыт первой империалистической войны показал, что пехота при атаке после артиллерийской подготовки нередко наталкивалась на сильный пулеметный огонь неуничтоженных пулеметов противника и на контратаки его пехоты, уцелевшей в прочных убежищах. Связь со своей артиллерией в это время обычно нарушалась. Эти обстоятельства и породили необходимость в такой артиллерии, которая была бы всегда при пехоте, двигалась с ней, не теряя связи, и могла бы в любой момент оказать ей поддержку.

Такая артиллерия появилась еще во время войны 1914—1918 гг., и называлась она артиллерией непосредственной поддержки (во Франции), пехотной артиллерией (в Германии), батальонной артиллерией (у нас). Тогда к этой артиллерии предъявляли только требования достаточного могущества для уничтожения огневых точек, большой подвижности и достаточно крутой траектории для обеспечения возможности поражения укрывшейся в окопах и глубоких складках местности пехоты противника.

В первый период войны во всех воевавших армиях были введены на вооружение для непосредственной поддержки пехоты орудия примитивного устройства и небольшого калибра, получившие название бомбометов и минометов (рис. 245). Эти виды орудий удовлетворяли своему назначению и успешно действовали по закрытым целям. Но потом были разработаны и введены на вооружение не только легкие, но и крупнокалиберные минометы для разрушения прочных фортификационных сооружений.

С развитием танков, могущих внезапно появиться в опасной близости перед пехотой, к батальонной артиллерии стали предъявлять и требование борьбы с танками[1]. Кроме того, в целях сокращения технических средств, обременяющих пехоту, считают желательным, чтобы эта артиллерия была приспособлена и для стрельбы по воздушным целям. На практике, однако, трудно бывает совместить все требуемые качества. Так например, для действия по огневым точкам и живым целям желательно иметь орудие сравнительно большого калибра, с тем чтобы снаряд был значительного веса, с большим разрывным зарядом или с большим количеством пуль, а для действия по танкам калибр орудия не имеет столь большого значения, как скорость в момент удара.

Опыт военного и мирного времени показал, что при весе системы около 180 *кг* удовлетворяется требование подвижности, под которым подразумевается и возможность передвижения силами орудийного рас-

[1] В настоящее время противотанковую артиллерию не считают батальонной, а рассматривают как особую, именно противотанковую, состоящую в распоряжении высшего командования (командира дивизии) и распределяемую по полкам по мере надобности.

чета. На короткие (до 0,5 *км*) расстояния возможно передвижение орудий при помощи орудийного расчета даже при весе системы 350—400 *кг*.

Группа в четыре человека у орудия, при его перекатывании, представляет собой заметную цель, в особенности в условиях близости противника. Отсюда вытекает требование разборности системы на части, весом 30—35 *кг*, для переноски людьми на расстояние до 2 *км*. Такой

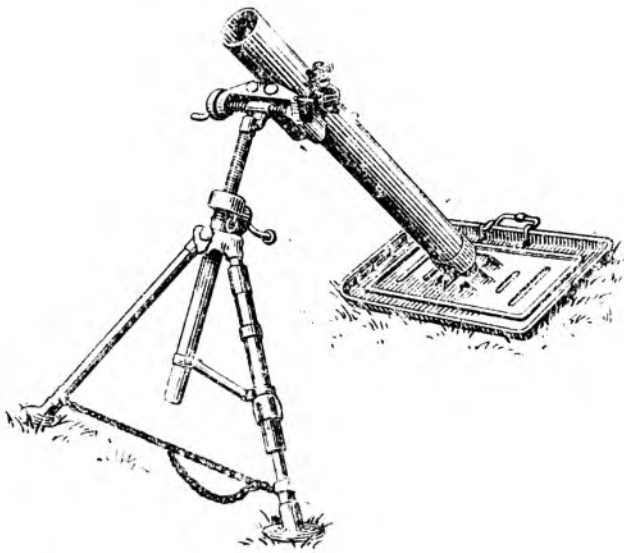


Рис. 245. Миномет Стокс-Брандта обр. 1930 г.

прием передвижения батальонных орудий, представляя удобства в отношении маскировки, имеет свои недостатки. Возникает, например, опасность оказаться без орудия в случае убыли одного из переносчиков; это тем более вероятно, чем на большее число вьюков делится система и чем ближе к противнику совершается передвижение.

Передвижение батальонных орудий лошадьми в непосредственной близости от противника недопустимо, так как лошади представляют

собой весьма заметную, большую и легко уязвимую цель. Самоходные установки пока не получили практического применения для этой цели, так как они тоже легко уязвимы. В настоящее время, однако, находит применение перевозка батальонных орудий на танкетках как груза или в виде прицепки.

Для выполнения задач батальонной артиллерии как в отношении действия по огневым точкам и живой силе, так и в отношении действия по бронесилам на ее вооружение обычно назначаются орудия двух видов: 60—70—80-*мм* минометы или гаубицы и 37—50-*мм* пушки [1].

К орудиям полковой артиллерии в сущности предъявляются те же требования, что и к орудиям батальонной артиллерии. Как уже отмечено, во многих армиях полковой артиллерии нет, и поэтому вопрос о вооружении ее мало разработан.

Для вооружения полковой артиллерии пользуются нередко пушками дивизионной и горной артиллерии. В последнее время в печати появлялись сведения о разработке специальных полковых орудий, имеющих следующие данные:

Характеристики \ Страны	Германия	Франция (Шнейдер)
Калибр в *мм*	50	70
Дальнобойность в *м*	7 200	4 000
Вес в боевом положении в *кг*	350	287

2. Дивизионная артиллерия

Назначение дивизионной артиллерии — поддерживать свою пехоту, содействовать ее продвижению и занятию ею расположения противника. Она является основой артиллерийских групп поддержки пехоты (конницы). Отсюда вытекает, что дивизионная артиллерия должна уничтожать живую силу противника, а также разрушать его огневые точки, артиллерию и окопы. Этим определяется необходимая степень могущества вооружения дивизионной артиллерии.

В настоящее время боевые порядки войск располагаются в глубину, артиллерия располагается за передовыми частями пехоты, в 2—4 *км*, причем на этой полосе, в 2—4 *км* глубиной, располагаются различного рода окопы и сооружения. Отсюда вытекает требование досягаемости действительного огня дивизионной артиллерии, по крайней мере, на 7—9 *км* (до 4 *км* в глубину противника, около 1 *км* между передовыми частями пехоты своей и противника и 2 — 4 *км* на удаление своих батарей от переднего края). Однако часто может быть необходимо сосредоточение огня на целях, занимающих фланговое положение, для чего потребуется дальность, по крайней мере, до 10 *км*. Чтобы получить действительный огонь на какую-либо дальность, нужно иметь, как показывает опыт, предельную дальность раза в полтора больше, т. е. 13—15 *км*. Такую дальность и требуют от современных дивизионных пушек и гаубиц. При этом следует учесть, что в одном и том же войсковом подразделении гаубицы, предназначаемые для разрушения прочных сооружений, имеют калибр больший, чем пушки, и обладают меньшей дальнобойностью.

Для дивизионной артиллерии пока наилучшей является конная тяга. Вековой опыт показал, что запряжка в шесть лошадей удобоуправляема; поэтому такая запряжка и принята для дивизионной артиллерии во всех странах. Так как на каждую лошадь можно рассчитывать нагрузку около 300 *кг*, то вес системы дивизионной артиллерии в походном положении при конной тяге может быть не более 1 800 *кг*.

---

[1] Некоторые данные об орудиях батальонной и прочих видов артиллерии даны выше.

Этими главнейшими соображениями и определяется калибр орудий дивизионной артиллерии. Во всех армиях приняты на вооружение дивизионной артиллерии 75—77-*мм* пушки и 105—122-*мм* гаубицы. Приведенную норму веса почти всегда превышают, принимая одновременно ряд мер для получения повозок, более легких на ходу, а также для введения механической тяги.

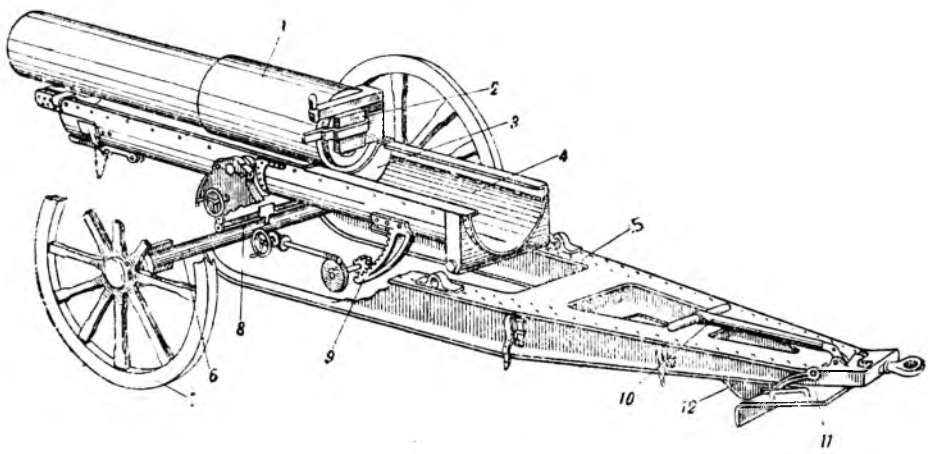


Рис. 246. 122-*мм* гаубица (схема):

1 — ствол; *2* — затвор; *3* — салазки; *4* — люлька; *5* — станок; *6* — боевая ось; *7* — колеса; *8* — поворотный механизм; *9* — подъемный механизм; *10* — правило; *11* — опорная площадка; *12* — сошник

Опыт войны 1914—1918 гг. и в особенности опыт последних войн выявил необходимость усиления артиллерийских средств во всех подразделениях. Поэтому в настоящее время ставятся и получают практическое разрешение вопросы увеличения калибра дивизионных пушек до 100 *мм*, а гаубиц—до 152 *мм* и о замене конной тяги механической.

3. Горная артиллерия

Горная артиллерия предназначается для выполнения задач дивизионной артиллерии, но в условиях войны в гористых местностях, особенности которых сказываются на условиях передвижения и стрельбы.

В гористых местностях часто приходится перевозить материальную часть на вьюках. Средний вес вьюка для мула или лошади на основании опытов не должен превосходить 100 *кг* (вес седла со всей амуницией сюда не входит). Отсюда вытекает необходимость делать орудие разбирающимся на отдельные части, весом не более 100 *кг* каждая. Для обеспечения удобства перевозки этих частей на вьюках предъявляют еще следующие требования:

а) каждая часть не должна быть длиннее 1,2—1,5 *м*, так как в противном случае она, раскачиваясь при движении, может получить большие колебания и бить по крупу или холке животного;

б) центр тяжести каждого вьюка должен быть по возможности в плоскости симметрии, чтобы груз не сваливался на сторону;

в) центр тяжести каждой отдельной части должен быть расположен возможно ниже;

г) каждая часть должна быть приспособлена к быстрому вьючению;

д) система должна быть приспособлена к тому, чтобы ее можно было быстро и удобно разбирать на части и вьючить без каких-либо специальных принадлежностей.

Обычно для горных орудий принимают тот же калибр, что и для дивизионной пушки, т. е. около 75 *мм*. При этом калибре, принимая во внимание указанную длину вьючной части (около 1,3 *м*), ствол орудия

получится не более 16—18 калибров, почему начальная скорость едва ли может быть больше 400 *м/сек*, а дальность — более 8 *км*. Поэтому для того, чтобы получить более могущественное горное орудие, делают его ствол составным.

В гористой местности приходится иметь дело с большими углами места цели и большими необстреливаемыми пространствами. Поэтому при конструировании орудия горной артиллерии необходимо разрабатывать к нему подъемный механизм с большим размахом углов возвышения: от —15° до +60°. Кроме того, вследствие особенностей горных дорог невозможно движение запряжки на колесах по две лошади в ряд, и приходится рассчитывать на тягу не более двух лошадей цугом. Полагая на каждую лошадь груз до 300 *кг*, получаем вес системы в походном положении около 600 *кг*. Следует заметить, что груз в 300 *кг* на лошадь иногда, при трудных условиях местности, оказывается большим даже для дивизионных пушек, почему уменьшения этого веса нужно добиваться всеми мерами.

Горные дороги отличаются небольшой шириной и извилистостью, почему ширина хода орудий горной артиллерии должна быть значительно меньше, чем в дивизионной артиллерии, а система в походном положении должна обладать поворотливостью и иметь небольшую длину.

Огневые позиции горной артиллерии часто будут представлять собой площадки небольших размеров со скалистым грунтом; поэтому в орудиях горной артиллерии необходимо предусмотреть меры для надежного сцепления орудия с грунтом. Следует устраивать не только прочные сошники, но и шпоры для колес.

Так как горное орудие должно быть небольшого веса, то для его устойчивости при выстреле приходится делать откатные части большего веса по отношению к весу всего орудия в боевом положении и понижать центр тяжести. Последнее обычно достигается уменьшением диаметра колес. Но так как при этом уменьшается максимальный угол возвышения, то часто прибегают к устройству переменной высоты оси цапф, что при малом весе системы обычно не встречает затруднений.

Для уменьшения необстреливаемых пространств нередко к горным орудиям назначают несколько зарядов.

Число вьюков должно быть возможно малым, так как движение в горах сопряжено с большими трудностями и различными случайностями. Одно неосторожное движение — и возможна утеря животного с вьюком, а вместе с этим выйдет из строя и вся система. Чем больше вьюков, тем больше вероятность потери одного из них. Кроме того, при большом количестве вьюков увеличиваются число животных и длина колонны, а вследствие этого затрудняются связь, снабжение и пр.

4. Конная артиллерия

Конная артиллерия предназначается для действий с конницей. Отсюда возникает требование подвижности не меньшей, чем имеет конница, чтобы конная артиллерия могла следовать вместе с конницей и всюду ее поддерживать своим могучим огнем.

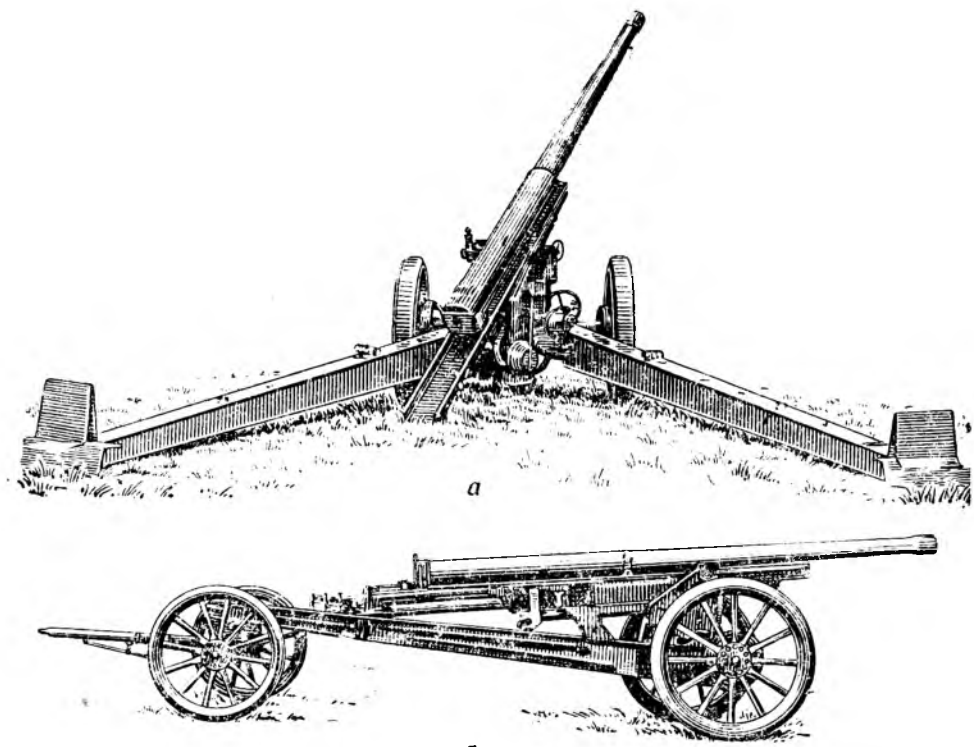
Конную артиллерию не следует рассматривать как дивизионную артиллерию пехоты, исходя из того, что конница нередко для решения боевых задач должна спешиваться. Конная артиллерия должна участвовать во всех видах действий конницы, в том числе и в стратегических рейдах. Таким образом, к конной артиллерии предъявляется требование особой подвижности при большом могуществе. Этому требованию, можно считать, удовлетворяет вес системы в походном положении около 1 500—1 600 *кг*, но было бы желательно уменьшение этого веса до 1 300—1 400 *кг*.

С развитием танков потребовалось снабжать конницу и противотанковыми орудиями. Как эти орудия, так и вообще конные орудия, многие

заводы разрабатывают вьючными. Такое решение, допуская сопровождение конницы артиллерией по самой неблагоприятной местности, не может, однако, не вызывать сомнения в удобстве движения с вьюками при быстрых аллюрах, когда вьюки будут сильно беспокоить лошадей. Отсюда вытекает требование о возможности возки этих орудий и на колесах и на вьюках.

5. Корпусная артиллерия

Корпусная артиллерия предназначается для действия по артиллерии противника, по его тылам, местам сосредоточения, складам, узлам дорог и т. п., а также для разрушения сооружений, против которых орудия дивизионной артиллерии оказываются недостаточно мощными. Поэтому орудия корпусной артиллерии должны обладать значительной дальнобойностью, 20—25 *км*, и очень мощным снарядом.



а

б

Рис. 247. 105-*мм* пушка:

а — в боевом положении; *б* — в походном положении

Во время первой империалистической войны на вооружении корпусной артиллерии состояли 100—110-*мм* пушки и 150—155-*мм* гаубицы. Эти же калибры сохраняются и в настоящее время, хотя многие считают желательным, в связи с усилением дивизионной артиллерии, перейти к новым калибрам для корпусной артиллерии: 110—122-*мм* пушек и около 200-*мм* гаубиц. Такие орудия можно перевозить только тракторами, и вес их ограничивается возможностью перехода по мостам и езды на хороших грунтовых и шоссейных дорогах. Исходя из этого, вес орудия корпусной артиллерии или повозок при перевозке орудий в раздельном виде может быть не более 16—18 *т*.

Новейшие орудия корпусной артиллерии увеличенных калибров при перевозке разбираются на части, которые укладывают на особые повозки. Каждую повозку перевозит трактор. Обычно орудие делят на две части:

ствол и лафет. Разборка таких орудий для похода и сборка их на огневой позиции представляют довольно кропотливые операции, требующие от 30 минут до 1 часа каждая. Поэтому желательно, чтобы имелась возможность их перевозки и без разборки.

Скорость движения корпусной артиллерии зависит от системы трактора, но требуется скорость до 30 *км/час*. Все это приводит к необходимости введения в системах корпусной артиллерии хорошего подрессоривания и крепления по-походному.

6. АРГК

Как уже было сказано, артиллерия резерва главного командования (АРГК) предназначается для качественного и количественного, а иногда и для специального усиления вооружения корпусов и дивизий. Поэтому в составе АРГК должны быть орудия всех калибров, состоящих на вооружении дивизионной и корпусной артиллерии, и сверх того орудия, еще более могущественные по дальнобойности и действию снарядов.

Дальнобойными считаются 150—155-*мм* и даже 200-*мм* пушки, с дальнобойностью 25—30 *км*, а могучей артиллерией, способной разрушать наиболее прочные железобетонные сооружения и броневые закрытия,—гаубицы калибров 200—300 и даже 500 *мм*.

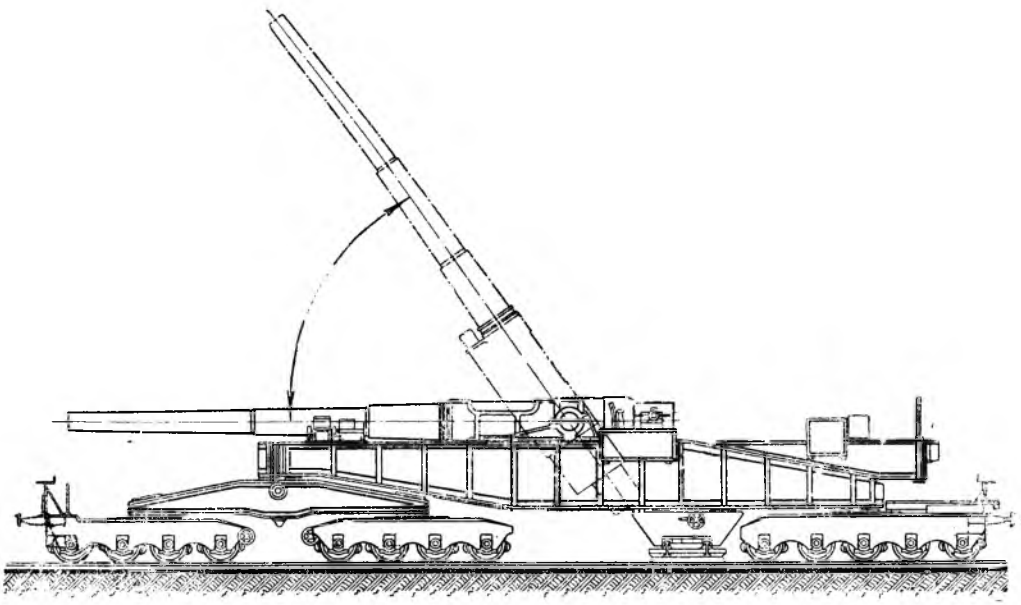


Рис. 248. Железнодорожная установка

Орудия АРГК перевозятся механической тягой. Предлагаются также самоходные и железнодорожные установки для них.

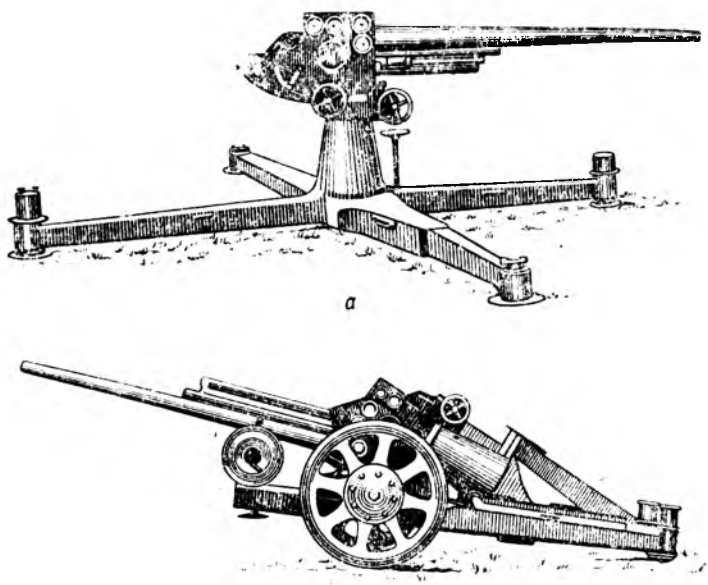
Под железнодорожными понимают такие установки, в которых средства перевозки служат и основанием для стрельбы из орудия (рис. 248). Обычно они представляют собой длинную балку, опирающуюся передним и задним концами на тележки с таким количеством осей, чтобы нагрузка их была допустимой по условиям железнодорожного движения (до 18—21 *т* на ось). На этой балке устанавливается орудие. На месте боевого употребления тележки либо выключают, а балку закрепляют на полотне пути, либо колеса тележек затормаживают.

Железнодорожные установки нашли широкое применение во время минувшей войны 1914—1918 гг. Эти установки позволили быстро перебрасывать на большие расстояния, как это уже было сказано, орудия весом до 300 *т*.

Дальнобойные пушки предназначаются для стрельбы по глубоким тылам, железнодорожным узлам, складам, а также и для борьбы с артиллерией противника. Из них ведут также стрельбу на запрещение, понимая под этим огонь по резервам, войскам на отдыхе и дорогам, ведущим к фронту, с тем чтобы воспрепятствовать этим войскам принять участие в бою. Крупнокалиберные гаубицы предназначаются, как уже упоминалось, для разрушения самых прочных бетонных сооружений и бронированных башен.

7. Зенитная артиллерия

В результате быстрого развития авиации предъявляются все более высокие требования к зенитной артиллерии как в отношении дальности стрельбы, так в особенности потолка и скорострельности. Кроме того,



а

б

Рис. 249. Зенитная пушка:
а — боевое положение; *б* — походное положение

от зенитных орудий требуется плавность и быстрота наводки, так как при бреющих полетах цель с большой скоростью проносится на малом расстоянии от земли, вследствие чего направление орудия при наводке резко и неравномерно изменяется. Для тяжелых систем эта задача невыполнима; поэтому необходимо в составе зенитной артиллерии иметь орудия небольших калибров, легко управляемых без помощи подъемных и поворотных механизмов.

Орудия небольших калибров (до 40 *мм*), будучи легко управляемыми и обладая большой скорострельностью, имеют, однако, небольшие потолок и дальность. Поэтому наряду с ними при войсках должны быть орудия и более крупного калибра (около 75 *мм*), но удовлетворяющие требованию подвижности (рис. 249).

Для обороны сооружений, складов, заводов, городов и т. д. нужны еще более могущественные орудия — калибром до 120 *мм*. Такие орудия будут применяться в основном на стационарных установках.

От зенитных орудий требуются: а) большие вертикальный и горизонтальный углы обстрела; б) совершенство механизмов наводки и прицель-

ных приспособлений, обеспечивающих большие скорости наводки (изменение угла на один оборот маховика или изменение угла наводки в 1 секунду) при небольшом усилии на маховике; в) большая скорострельность.

Зенитные 75-, 100-, 120-*мм* орудия обладают дальностью 15—20 *км*, потолком 10—14 *км*, дают угол возвышения до 90°, угол горизонтальной наводки 360°, скорость наводки 3—8° в секунду; они имеют полуавтоматические затворы и дают скорострельность 12—25 выстрелов в минуту.

Орудия мелких калибров весьма разнообразны: калибр — от 20 до 45 *мм*, дальность — 4—8 *км*, потолок — 2—4 *км*; наводка чаще всего выполняется без механизмов (вручную), в пределах до + 90° по вертикали и 360° по горизонтали; действие их — автоматическое, скорострельность — 120 и более выстрелов в минуту.

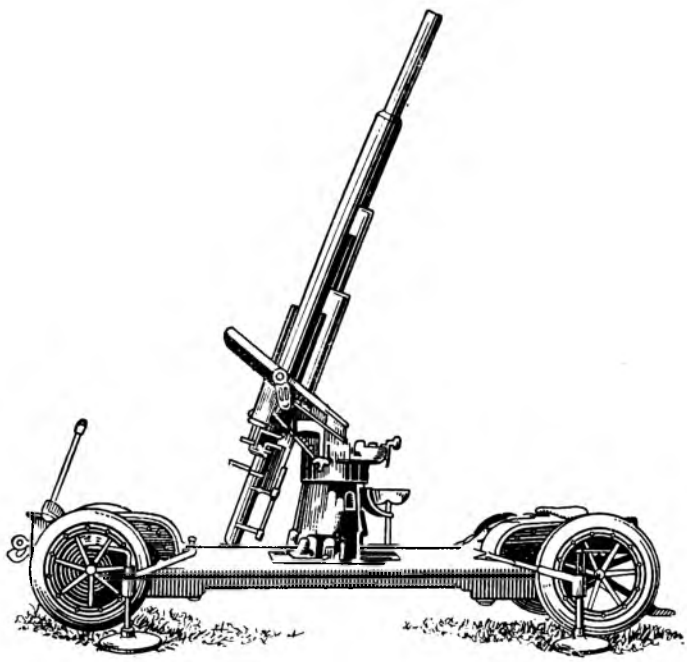


Рис. 250. Зенитная пушка на повозке

Орудия среднего калибра все чаще устанавливают на четырехколесные повозки (рис. 250).

8. Авиационная и танковая артиллерия

К вооружению этих двух видов артиллерии предъявляются некоторые общие требования: а) при достаточном могуществе вмещаться в очень ограниченные габариты; б) обладать широкими углами обстрела в пределах, допускаемых самолетом или танком; в) орудие должно быть без отдачи или по крайней мере иметь силу отдачи (сопротивление откату) как можно меньшую. Последнее требование для танков имеет меньшее значение, чем для самолетов.

При разработке орудий для вооружения авиации необходимо учитывать силы воздушного потока и инерции, развивающиеся в системе вследствие движения самолета. Для танкового вооружения эти факторы имеют меньшее значение. Эти силы (воздушного потока и инерции) бывают настолько велики, что иногда наводка орудия, выступающего из самолета, становится невозможной без применения специальных компенсаторов.

Следует также учитывать положение стрелка, которое определяется отводимым для него помещением (рис. 251).

Размах углов горизонтальной и вертикальной наводки требуется очень большой. Для авиационного вооружения на подвижных установках желательно иметь наводку в пределах 360° как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости. Практически, однако, размах углов ограничивается в каждом конкретном случае в зависимости от места установки орудия на самолете. Требование столь больших углов наводки объясняется тем, что приходится вести огонь по целям, могущим занимать самое разнообразное положение в пространстве по отношению к самолету, с которого ведется огонь. Для танкового вооружения амплитуда углов может быть меньше, но все же она должна быть значительно больше, чем у орудий войсковой артиллерии вследствие больших наклонов танков при движении по неровной местности.

Безотдачность орудия может быть достигнута, например, при одновременной стрельбе из орудия в прямо противоположные стороны (в сторону противника летит боевой снаряд, а в сторону обратную — снаряд того же веса, но сейчас же рассыпающийся на элементы, быстро теряющие, вследствие незначительного веса, свои скорости). Подобные предложения были, но, насколько известно, они до сих пор не получили практического применения. Есть и другие приемы получения безотдачных орудий, которые разрабатываются и испытываются, например применение реактивных снарядов, но о них пока говорить преждевременно.

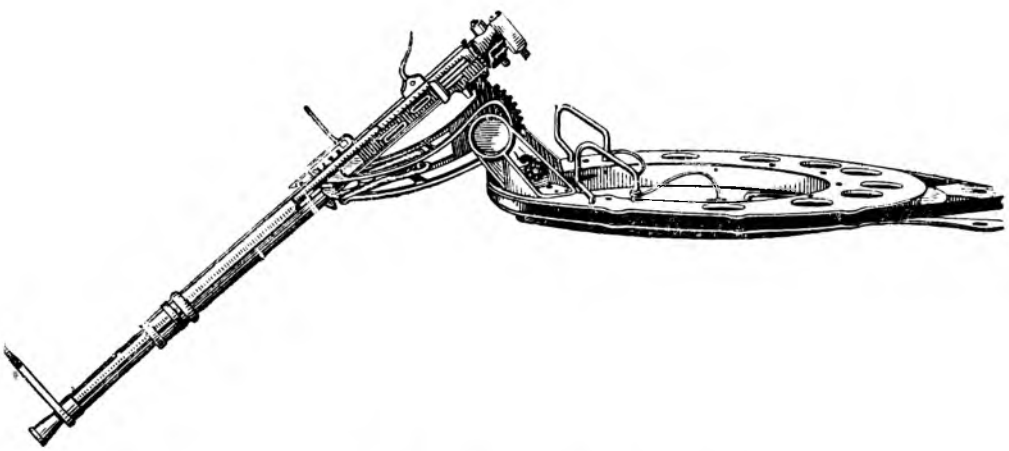


Рис. 251. Авиационная установка

Действие авиационного орудия, помимо всего прочего, не должно зависеть от резких колебаний температуры, что имеет место при изменении высоты полета. Для устранения влияния колебаний температуры для авиационных артиллерийских установок разрабатываются термостаты.

Вооружение авиации в основном составляют пулеметы калибром от 7,62 до 12,7 *мм*. Разработаны и разрабатываются также и специальные орудия 20-, 23-*мм* и более крупных калибров.

Танки чаще всего вооружаются, кроме пулеметов, такими же орудиями, как и противотанковая артиллерия (берут одну и ту же качающуюся часть), а иногда и более крупными орудиями. Ввиду того что все сопротивление противооткатных приспособлений воспринимается танком, длину отката обычно уменьшают, что выгодно и в отношении уменьшения диаметра башни.

В следующей таблице приводятся характеристики артиллерийских орудий различных назначений (таблица 63).

Таблица 63

Характеристики орудий различных назначений
(даны средние округленные значения)

Назначение и название орудий	Калибр в *мм*	Вес снаряда в *кг*	Начальная скорость в *м/сек*	Дальность в *м*	Вес в боевом положении в *кг*	Вес в походном положении в *кг*	Угол возвышения в °	Угол горизонтальной наводки в °	Число вьюков
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Батальонная артиллерия:									
минометы	60–81	1,0–6,5	180	1 000–3 600	35–70	—	До 80	До 20	1–7
гаубицы	75	3–6	140–150	2 000–4 000	120–380	—	45–70	20–30	—
пушки	37	0,5–0,7	600–800	4 000–7 000	200–300	Около 600	—8+25	30–60	4–6
»	47	1,4–1,6	500–800	4 500–7 000	250–400	» 800	—7+80	40–60	6–10
2. Дивизионная артиллерия:									
пушки	75–77	6,5–7,0	600–750	12 000–14 000	1 400–1 600	2 200–2 500	—10+65	50–60	—
гаубицы	105	14–16	450–500	10 000–11 000	1 400–1 600	2 300–2 600	— 5+65	50–60	—
3. Корпусная артиллерия:									
пушки	105	16	800	18 000	4 500	5 500	0+45	60	—
»	122	23	750	20 000	5 500	6 000	0+45	60	—
гаубицы	150	40	500	14 000	4 500	5 500	0+65	60	—
»	155	45	500	15 000	6 000	7 000	0+65	60	—
4. Горная артиллерия:									
пушки	75	6,5	400–430	8 000–9 000	700–800	—	—10+60	6–10	7–9
гаубицы	90–105	9–12	350–400	8 000–9 000	800–900	—	— 9+70	6–10	9–10
5. АРГК:									
пушки	150–155	45–50	750–800	22 000–25 000	10 000–15 000	2×9–10 000[1]	0+45	60	—
гаубицы	210–220	100–130	500	14 000–17 000	15 000–16 000	2×9–10 000	0+65	60	—
6. Зенитная артиллерия:									
пушки	20–25	0,13–0,30	900	4 000–5 000	400–600	—			
»	40–47	0,8–1,4	900–850	9 000–10 000	1 000–1 500	—	80–85	360	—
»	75	6,2	800	15 000	3 000–4 000	—			
»	100	15	850	17 000	6 000	—			

[1] Две повозки по 9 000–10 000 *кг*.

ГЛАВА II

УСТРОЙСТВО СТВОЛОВ И ЗАТВОРОВ

1. Устройство стволов

Устройство стволов достаточно подробно рассмотрено в отделе „Проектирование стволов", почему здесь об этом говорить не будем.

2. Общие требования, предъявляемые к затворам

Каждый затвор орудия должен удовлетворять следующим требованиям:

1) быть прочным и надежно соединяться со стволом (запираться) в закрытом положении;
2) иметь замыкающий механизм, чтобы предупредить открывание затвора во время выстрела;
3) предупреждать прорыв пороховых газов между затвором и гнездом для него в стволе;
4) не допускать производства выстрела при не вполне запертом затворе;
5) не допускать открывания затвора до тех пор, пока не произойдет выстрела;
6) закрывание и открывание затвора должно производиться быстро, в один прием, с небольшим и равномерным усилием;
7) иметь приспособление для замыкания затвора и стреляющего механизма при движении системы;
8) затвор должен занимать в открытом положении возможно меньше места, чтобы его можно было открывать и в том случае, когда казна ствола опустится между станинами лафета;
9) не допускать производства выстрела, если откатные части не находятся на месте (при недокатах).

Если заряд помещается в гильзах, то к затворам добавляют еще следующие два требования:

10) надежное действие стреляющего приспособления;
11) надежное выбрасывание гильзы после выстрела или всего патрона в случае осечки.

Десятое требование следует предъявлять к затворам и при картузном заряжании орудий, формулируя его: надежное сообщение огня зарядам.

3. Типы затворов

В разное время были предложены затворы следующих систем или типов:

а) клиновые;
б) поршневые;
в) эксцентрические;
г) крановые (шаровые);
д) откидные.

Наиболее широкое распространение получили клиновые и поршневые затворы. Менее распространены эксцентрические, а крановые и откидные встречаются в настоящее время весьма редко.

В орудиях гильзового заряжания применяются чаще всего клиновые затворы, а в орудиях картузного заряжания — исключительно поршневые затворы с обтюратором Банжа.

По роду действия затворы делятся на:

а) действующие вручную или от какого-либо источника энергии (электричество);

б) полуавтоматические;

в) автоматические.

Последние два вида затворов обычно действуют за счет энергии пороховых газов, получающихся при выстреле.

4. Общие принципы устройства клиновых затворов

Общие основания устройства клиновых затворов состоят в следующем.

В казенной части ствола проделано сквозное отверстие — клиновое гнездо, в которое вдвигается массивное тело, имеющее форму клина. Клиновое гнездо (рис. 252) ограничивается спереди плоскостью, перпендикулярной к оси канала орудия; задняя его поверхность, имеющая разнообразную форму (плоскую, слегка закругленную у ребер, цилиндрическую), составляет с осью канала угол, не равный 90°. Клин, имеющий такую же форму, как и клиновое гнездо, вдвигается в него (на схеме справа налево); при этом благодаря направляющим он прилегает к задней грани клинового отверстия. Так как последняя наклонна к оси канала ствола, то клин, скользя по ней, при вдвигании постепенно приближается к передней грани клинового отверстия и в конце прижимается к ней своей передней гранью и запирает ствол. Для открывания клина его вытягивают из клинового гнезда (на схеме вправо).

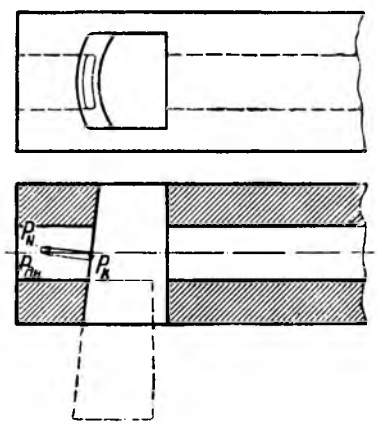


Рис. 252. Схема клинового затвора

Клиновой затвор, устроенный по приведенной схеме, надежно запирает орудие, так как он опирается большей частью своей задней поверхности на стенки ствола, и сила давления пороховых газов направлена под большим углом к направлению движения затвора, вследствие чего только небольшая слагающая этого давления $P_к$ (рис. 252) действует на выталкивание клина из клинового гнезда.

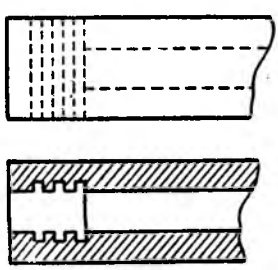


Рис. 253. Схема клинового затвора с опорными ребрами

С развитием техники все части клинового затвора стали изготовлять весьма тщательно, а угол наклона задней грани клина стали все более уменьшать, приближая ее к положению, параллельному передней грани. Благодаря этому усилие, стремящееся вытолкнуть клин из клинового гнезда, приближается к нулю.

Вследствие большой величины поверхности соприкосновения клина с задней гранью клинового отверстия удельное давление при выстреле получается небольшим, а это обеспечивает прочность клина и надежность удержания его в гнезде при достаточной прочности стенок ствола.

Одно время были предложены клинья с опорными ребрами (рис. 253), опиравшимися на грани ребер затворного гнезда. Так как при этом получалось вполне надежное и прочное соединение затвора со стволом, то отказались от заклиновой части в стволе. Это представлялось, кроме того, выгодным с точки зрения облегчения ствола при той же длине его, или удлинения канала при том же весе ствола. Однако опыт показал, что щеки затворного гнезда, не имея в этом случае между собой связи,

расходятся, почему в настоящее время эти щеки обычно связываются между собой. Вместо устройства заклиновой части устраиваются в этом случае на направляющих ребрах клина захваты, которые сцепляются с захватами ствола (рис. 254).

Клиновые гнезда расположены либо горизонтально, либо вертикально. Первое расположение выгодно в отношении равномерности усилия для открывания и закрывания клина, но требует места для выходящего в сторону клина, вследствие чего нужно широко разводить станины лафета. Вертикально двигающийся клин не имеет этого неудобства, но зато усилие на его рукояти очень неравномерное и при большом весе клина может оказаться непосильным для человека. Поэтому приходится вводить уравновешивающие механизмы в виде пружин, которые взводятся при открывании затвора и уменьшают энергию падения клина, а при закрывании, наоборот, облегчают его подъем.

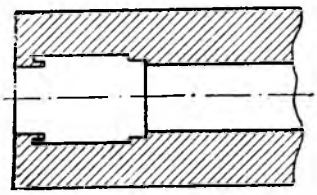


Рис. 254. Схема гнезда для клинового затвора с захватами

Замыкание осуществляется в каждом затворе своеобразно.

Обтюрация в современных орудиях, запираемых клиновыми затворами различных конструкций, часто достигается особой частью — гильзой. Если же заряд помещается не в гильзе, а в картузе, то, как уже было сказано, применяют главным образом поршневые затворы с обтюратором Банжа.

5. Основания устройства поршневых затворов

Поршневой затвор представляет собой цилиндрическое тело (пробку), снабженное винтовой нарезкой и ввинчиваемое в соответствующее гнездо в стволе.

Витки поршня, сцепляясь с витками гнезда, обеспечивают надежное удержание и закрепление поршня *2* в стволе (рис. 255). Для этого требуется довольно большое число витков, с тем чтобы на каждый из них приходилось меньшее усилие. Однако при большом числе витков, если не прибегнуть к особому устройству их, для открывания и закрывания затвора пришлось бы делать много оборотов, что отнимало бы много времени.

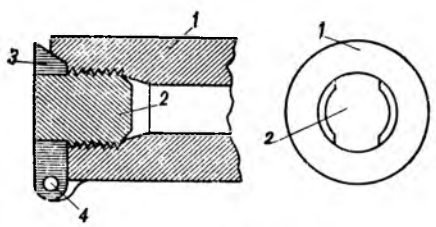


Рис. 255. Схема поршневого затвора: *1* — ствол; *2* — поршень; *3* — рама; *4* — ось рамы

Для достижения быстроты работы затвором витки делаются не на всей окружности, а лишь местами. Например, на рис. 255 справа видно, что на двух секторах витки имеются, а два сектора поверхности поршня гладкие, без витков. Затвор имеет сходное устройство. При закрывании нарезные секторы поршня войдут в гладкие секторы гнезда, а витки гнезда придутся против гладких частей поршня.

При таком положении поршень может быть вдвинут на всю длину в гнездо. Затем достаточно повернуть его на четвертую долю окружности, чтобы все витки поршня сцепились со всеми витками гнезда и затвор был закрыт.

Однако такое устройство поршня, удовлетворяя требованию быстроты работы с ним, ослабляет закрепление поршня в гнезде, так как при этом уменьшается длина сцепляющихся витков. Поэтому для надежного закрепления поршень приходится делать длиннее, чтобы увеличить площадь сцепляющихся поверхностей, но вследствие этого поршень получается большого веса.

Для возможного уменьшения веса поршня, не ослабляя, однако, надежного закрепления, делают ступенчатые (рис. 256) поршневые затворы (предложение Велена). В этих затворах витки на поршне и в затворном гнезде сделаны разных диаметров. После вдвигания в затворное гнездо

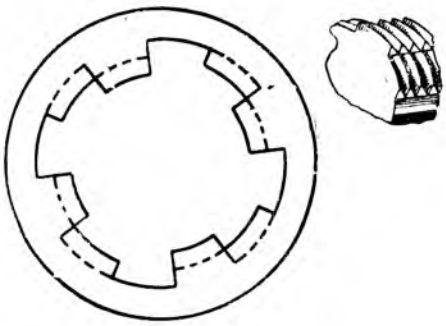


Рис. 256. Схема ступенчатого затвора

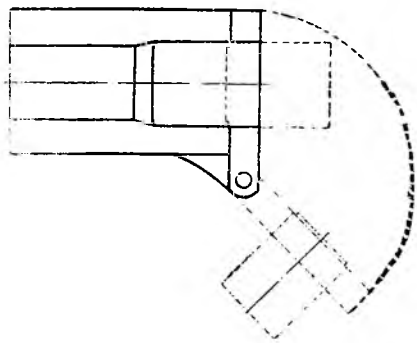


Рис. 257. Схема открывания поршневого затвора

достаточно повернуть поршень на $^1/_{12}$ долю окружности, чтобы все его витки (и малого и большого диаметра) сцепились с витками затворного гнезда. Имеются также затворы с витками в три яруса.

В ступенчатых поршневых затворах при малом повороте достигается сцепление на большой доле окружности витков, вдвое или втрое большей угла поворота.

Обтюрация в поршневых затворах достигается гильзами или, если орудие стреляет зарядами, помещенными в картузах, при помощи обтюратора Банжа, называемого также пластичным обтюратором.

При открывании поршневого затвора поршень выдвигается из затворного гнезда и удерживается при орудии особой рамой, которая может вращаться на шарнире, укрепленном на стволе. Таким образом, при открывании поршень целиком выходит из ствола (рис. 257).

При больших углах возвышения требуется значительное и к тому же неравномерное усилие для приподнимания поршня как при открывании, так и при закрывании. Для устранения этого прибегают к уравновешивающему механизму (рис. 258) или устраивают рукоять переменной длины в соответствии с изменением усилия для действия затвором. Кроме того, при больших углах возвышения открытый затвор стремится под действием силы тяжести опуститься, что может помешать заряжанию орудия. Поэтому номеру, действующему затвором, приходится во время заряжания удерживать затвор в отведенном положении. Это неудобство устраняется устройством особых защелок, удерживающих затвор в отведенном положении.

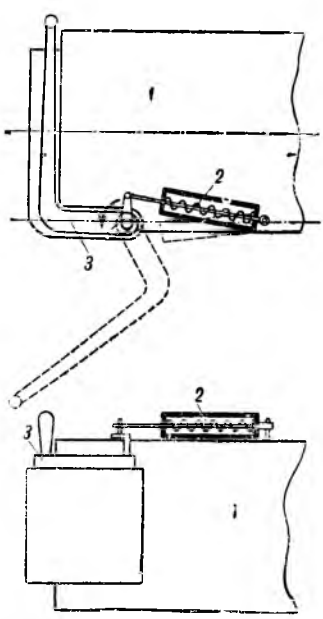


Рис. 258. Схема уравновешивающего механизма в поршневом затворе:
1 — ствол; *2* — пружина; *3* — рукоять

При повороте поршня с рамой наиболее удаленные от оси вращения рамы точки описывают большие окружности, иначе говоря, для открывания затвора нужно большое свободное пространство.

6. Клиновой затвор

Устройство современных клиновых затворов весьма разнообразно. Здесь мы ограничимся описанием лишь одного из них.

На схеме рис. 259 затвор изображен в закрытом виде. Для открывания затвора нужно рукоять *4*, сидящую свободно на оси *3*, сомкнуть с осью. Это достигается нажатием стержня *5*, помещенного внутри рукояти, вниз. Тогда стержень нажмет стаканчик *6*, и его верхний выступ *7* выйдет из паза на дуге *8*, укрепленной на стволе. В то же время нижний конец стаканчика войдет в гнездо на оси *3*. Таким образом, вследствие опускания стаканчика произойдет расцепление рукояти со стволом и сцепление ее с осью. Если теперь вращать рукоять сзади вперед, то будут вращаться ось *3* и сидящие на ней неподвижно два рычага *9* с роликами *10*. Последние входят в пазы *11* на клине *2*. Ролики сначала будут двигаться по дуговому участку пазов, вследствие чего клин двигаться не будет. Когда же ролики нажмут на грани прямолинейных участков

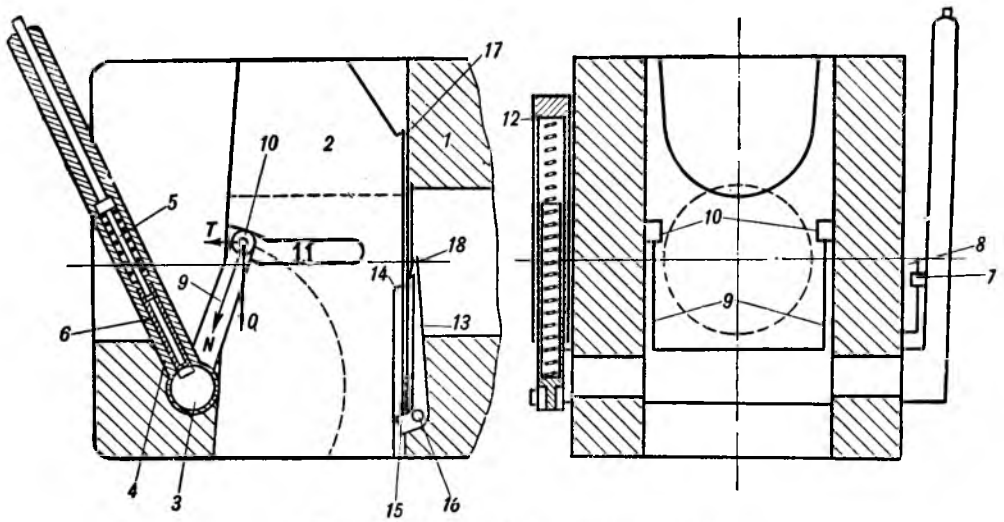


Рис. 259. Схема клинового затвора:

1 — ствол; *2* — клин; *3* — ось; *4* — рукоять; *5* — стержень; *6* — стаканчик; *7* — выступ стаканчика; *8* — дуга; *9* — рычаги; *10* — ролики; *11* — пазы клина; *12* — уравновешивающая пружина; *13* — лапки выбрасывателя; *14* — выступы на клине; *15* — кулаки лапок выбрасывателя; *16* — ось выбрасывателя; *17* — выступы на клине; *18* — зацепы лапок выбрасывателя

кулисы, то клин начнет падать, облегчая работу номера, действующего на рукоять. Это совершенно необходимо, так как при повороте рукояти происходит одновременно сжатие пружины уравновешивающего механизма затвора, а если затвор снабжен полуавтоматикой, то и взведение запирающей пружины.

При опускании клина лапки *13* выбрасывателя начинают под действием особой пружины поворачиваться верхними концами назад и смещать гильзу. Клин, падая, ударяет своими выступами *14* по кулакам *15* лапок выбрасывателя, отчего последние резко поворачиваются вокруг своей оси *16* и выбрасывают гильзу. Вслед за тем действием уравновешивающей пружины клин поднимается, но его выступы *17* упираются в зацепы *18* на лапках выбрасывателя. Клин остается в нижнем положении, а зарядное отверстие (жолоб) клина — на продолжении канала ствола, благодаря чему заряжание может быть легко произведено.

Дуговые участки пазов на клине имеют назначением:

а) Дать размах рукояти, чтобы обеспечить страгивание клина.

б) Удержать клин в верхнем положении при закрывании его и в известной степени произвести замыкание клина.

В самом деле (рис. 259), клин, стремясь под действием веса и слагающей давления пороховых газов опуститься, давит на ролики по нормали к их поверхности. Это давление N направлено по оси рычагов. Его можно разложить на две слагающие: Q — параллельно задней грани клина, которая стремится опустить клин, и T — перпендикулярно, которая поворачивает рычаг назад и тем препятствует опусканию клина.

в) Запирание клина, как это будет указано далее, происходит под действием уравновешивающей (и закрывающей) пружины. Когда клин поднят, то он может качаться на пружине, а в результате нескольких колебаний он может остановиться в не закрытом окончательно положении. Слагающая T предотвращает это явление.

Клин при открывании опускается несколько ниже, а затем поднимается настолько, что его жолоб становится на продолжении канала ствола. Это опускание необходимо для того, чтобы выбрасывание гильзы происходило беспрепятственно. В противном случае закраина гильзы могла бы упереться в клин.

При заряжании закраина гильзы ударяет по лапкам выбрасывателя, отчего они поворачиваются вперед и освобождают клин. Последний силой упругости пружины уравновешивающего механизма (и запирающего) поднимается и закрывает затвор.

Выстрел производится при помощи стреляющего или ударного механизма, собранного внутри клина.

Для производства выстрела (рис. 260) нужно повернуть правую спусковую рукоять *1* вправо или левую *2* влево; при этом тяга *3* продвигается влево. В паз тяги входит выступ спускового стержня *4*.

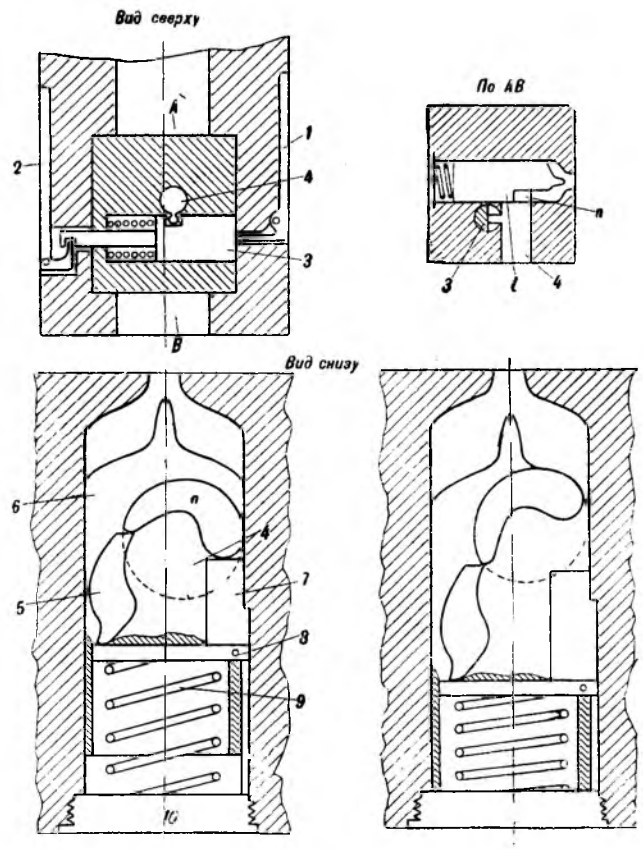


Рис. 260. Схема стреляющего механизма:

1 и *2* — спусковые рукояти; *3* — тяга; *4* — спусковой стержень; *5* — взвод; *6* — ударник; *7* — гребень на ударнике; *8* — перегородка; *9* — боевая пружина; *10* — крышка

На верхнем конце спускового стержня имеется фигурный выступ n, один конец которого упирается во взвод *5* ударника *6*, а другой — в гребень ударника. Ударник представляет собой тяжелое тело, в которое ввинчен боек. Внутри ударника имеется цилиндрический канал с перегородкой *8*. В эту перегородку упирается передним концом боевая пружина *9*. Задний ее конец упирается в крышку *10*, ввинченную в клин.

При вращении стержень *4*, нажимая своим выступом n на взвод ударника, отодвигает ударник назад и сжимает боевую пружину. При достаточном повороте стержня его выступ соскакивает со взвода и попадает в промежуток между взводом и гребнем на ударнике. Ударник под действием сжатой боевой пружины устремляется вперед и ударяет по капсюльной втулке гильзы.

После снятия усилия со спусковой рукояти пружина тяги *3* ставит тягу на место, продвигая ее вправо, отчего стержень *4* поворачивается обратно, а носик его выступа, слегка повернув взвод ударника, снова становится впереди него. Бородка же выступа, нажимая на гребень, отодвигает ударник назад, и боек ударника прячется за переднюю грань клина. Спусковые рукояти занимают исходное положение отчасти под действием пружины тяги *3*, а отчасти под действием своих собственных пружин.

Перегородка в ударнике укреплена на шпильке и может вокруг нее вращаться. Боевая пружина, нажимая на перегородку, посредством ее нажимает на взвод, удерживая его в должном положении, и позволяет ему несколько поворачиваться, что необходимо для возможности возвращения выступа *n* стержня *4* в исходное положение.

Перегородка имеет выступ, входящий в паз в клине и служащий шпонкой, которая препятствует ударнику поворачиваться в его гнезде в клине.

Если клин не будет окончательно закрыт, то левый конец тяги не станет против окна для него в левой стенке ствола, почему продвижение тяги влево, а стало быть, и производство выстрела станет невозможным. Невозможность произвести выстрелы, при не вполне запертом затворе, достигается и тем (как, впрочем, и во всех клиновых затворах при заряде, помещенном в гильзе), что отверстие для бойка ударника не придется против капсюля в гильзе.

Замыкание клина обеспечивается, как уже упоминалось, взаимодействием граней дуговых участков кулис и подъемными рычагами клина, а также и тем, что тяга *3* во время выстрела входит своим левым концом в отверстие в стенке ствола.

Обтюрация достигается гильзой.

Описанный затвор относится к числу полуавтоматических, и закрывание его происходит за счет энергии пружин. Если бы не было пружин, то лапки выбрасывателя и клин не сцеплялись бы в открытом положении, и для закрывания клина пришлось бы приложить к рукояти усилие номера. Рукоять в этом случае можно было бы наглухо соединить с осью. При полуавтоматическом действии лучше, когда рукоять расцепляется с осью, так как ее можно во время стрельбы сцепить со стволом, и она будет удерживаться неподвижно и не будет беспокоить орудийный расчет.

Замыкание затвора на походе или при надобности в этом производится особым предохранителем, помещенным в стенке ствола. На переднем конце предохранителя имеются два выступа, которые в боевом положении не мешают качаниям подъемных рычагов и поворачиванию оси левой спусковой рукояти. При замыкании предохранитель поворачивают на 90°, один его выступ становится впереди левого подъемного рычага, а другой входит в углубление на оси левой спусковой рукояти, чем устраняется возможность поворачивания этих частей.

Стопорить надо именно левую спусковую рукоять потому, что при застопоренном ее положении нельзя работать и правой рукоятью. Если бы застопорить правую рукоять, то левой можно было бы работать, как это можно уяснить из рисунка.

7. Поршневые затворы

Поршневые затворы имеются двух видов: а) только вращающиеся в раме (рис. 261, *а*) и б) вращающиеся и двигающиеся в раме продольно (рис. 261, *б*).

Как видно из рисунков, затворы с продольным движением поршня в раме имеют, по сравнению с затворами, поршень которых может только вращаться в раме, те преимущества, что при открывании затвора требуется меньше места и что у них оси шарниров рам и самые рамы менее нагружены. В самом деле, поршень представляет собой массивное тело

большого веса (в орудиях большого калибра 1—2 *m*); поэтому в открытом положении затвора получается большой момент веса, изгибающий ось шарнира, проушину рамы и проушины ствола. Это справедливо для затворов обоих видов. Но затворы, поршень которых скользит в раме, можно сделать так, что центр тяжести поршня (при выдвинутом положении последнего) будет находиться в раме. В этом случае получится только один изгибающий момент, как сказано выше. В затворах же, поршень которых только поворачивается в раме, центр тяжести поршня будет вне рамы, и получается момент веса затвора изгибающей части крепления в направлении, перпендикулярном ранее сказанному. В результате этого происходит расстройство этих креплений, сказывающееся в том, что поршень не вполне свободно входит при закрывании в гнездо в стволе (получается, как говорят, „хрипение" поршня от задевания его витков о поверхность затворного гнезда), и даже может быть отказ в работе.

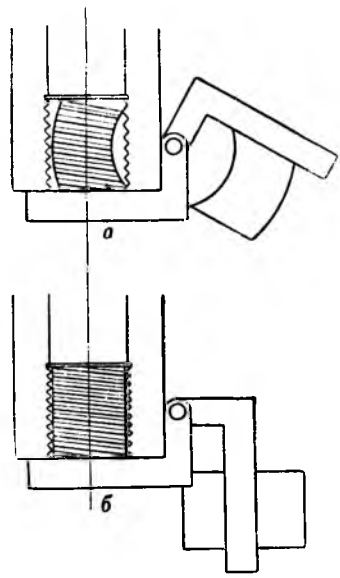


Рис. 261. Поршневой затвор:

а — только вращающийся в раме;
б — вращающийся и двигающийся в раме

8. Поршневой затвор с поршнем, только вращающимся в раме

Этот вид затвора очень распространен в артиллерийских системах.

На рис. 262 затвор изображен в закрытом положении. Для открывания его нужно поворачивать рукоять *3* назад направо; при этом ее шип *4*, входящий в паз на гребенке *5*, заставит ее двигаться слева направо, и ее зубцы будут вращать поршень *2* по часовой стрелке. При вращении поршня витки его нарезных секторов будут вывинчиваться из витков затворного гнезда, и поршень будет несколько отходить назад, навинчиваясь на патрубок *6* рамы *7*.

Вращение поршня будет происходить до тех пор, пока шпоночный выступ *11* на оси рукояти не упрется в правую грань дугового паза *14* в проушине рамы *7*. В это время витки поршня выйдут из сцепления с витками затворного гнезда. Так как дальнейший поворот поршня невозможен, то весь затвор (поршень с рамой и другими частями), поворачиваясь вместе с осью рукояти, будет отходить от ствола.

При повороте поршня хвост *10* трубки *9* ударника, оставаясь неподвижным (так как он проходит через паз рамы), будет скользить по гребню *15* поршня *2* и в конце поворота поршня упрется в грань *8* на гребне, что также ограничивает поворот поршня.

В наклонном (снизу вперед вверх) гнезде рамы помещен стопор *12* гребенки, который под действием пружины всегда нажимает на нижнюю грань гребенки. Когда поворот поршня закончится, то над стопором придется уступ на гребенке, и стопор под действием своей пружины поднимется кверху и сдвинется несколько вперед, причем его гребень станет левее уступа гребенки, а передняя грань его выйдет из рамы вперед.

При отходе рамы с поршнем от казенного среза ствола выбрасыватель *13* скользит своим коротким плечом по проушине рамы, вследствие чего длинное плечо отходит назад и медленно сдвигает гильзу. Когда же упор *16* рамы доходит до короткого плеча выбрасывателя, то вследствие очертания упора происходит резкий поворот выбрасывателя и гильза легко выбрасывается. Сразу резко смещать гильзу рискованно, так как из-за плотного прилегания ее стенок к стенкам каморы могло бы произойти смятие или срезание закраины гильзы, либо изгиб выбрасывателя.

Затвор закрывается вращением рукояти в обратном направлении. При этом могло бы произойти поворачивание поршня, если момент трения на проушинах рамы и ствола оказался бы больше момента трения поршня в раме, и закрывание затвора стало бы невозможным. Для пред-

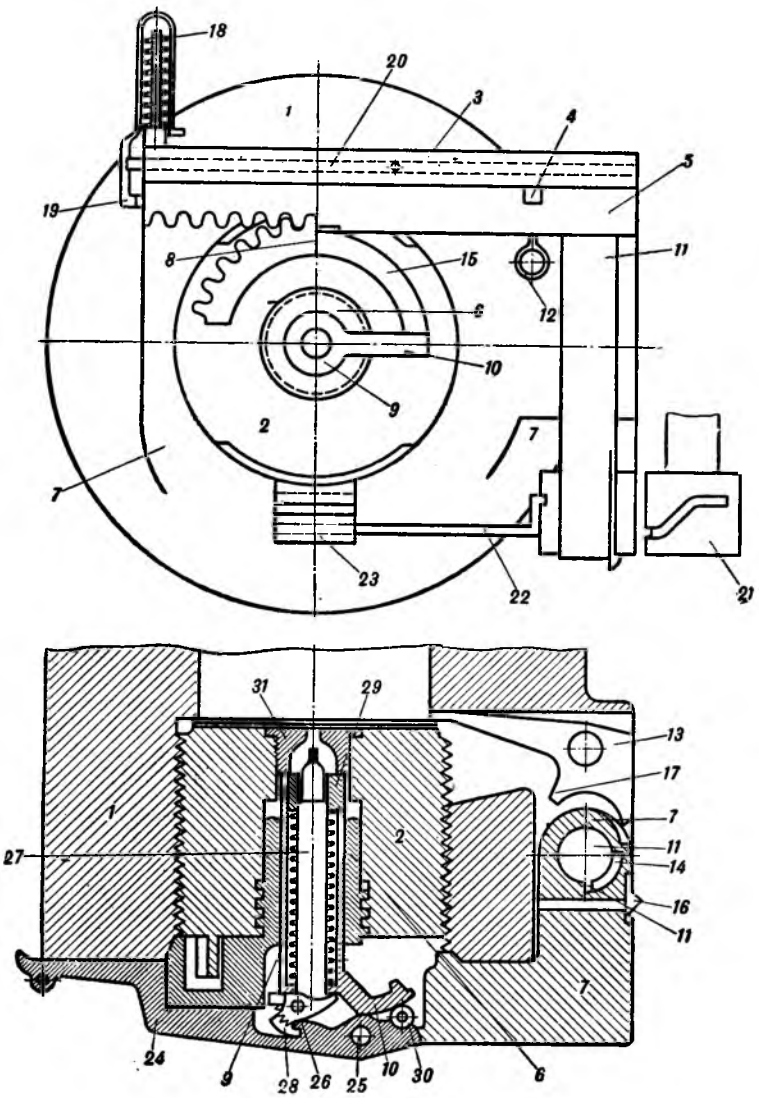


Рис. 262. Затвор, только вращающийся в раме:

1 — ствол; *2* — поршень; *3* — рукоять; *4* — шип рукояти; *5* — гребенка; *6* — патрубок рамы; *7* — рама; *8* — грань гребня затвора; *9* — трубка ударника; *10* — хвост трубки ударника; *11* — выступ оси рукояти; *12* — стопор гребенки; *13* — выбрасыватель; *14* — дуговой паз; *15* — низкий гребень затвора; *16* — упор рамы; *17* — отросток выбрасывателя; *18* — ручка; *19* — зуб ручки; *20* — стопор затвора; *21* — муфта; *22* — ось подъемного рычага; *23* — подъемный рычаг планки; *24* — курок; *25* — ось курка; *26* — зацеп курка; *27* — ударник; *28* — взвод; *29* — опорная муфта; *30* — ролик курка; *31* — втулка в поршне

упреждения этого явления служит стопор гребенки, который удерживает последнюю от продвигания в раме. Поэтому давление шипа рукояти на гребенку передается стопору, а от стопора к раме; в результате рама начинает поворачиваться вокруг оси рукояти.

Когда рама подходит к казенному срезу ствола, то стопор гребенки упирается в этот срез, утопает в гнезде в раме, преодолевая сопротивление своей пружины, затем опускается вследствие наклона гнезда и освобождает гребенку. Гребенка начинает продвигаться влево и повора-

чивает поршень до полного сцепления его витков с витками в затворном гнезде. Шпоночный выступ на оси рукояти прилегает к левой грани паза в проушине рамы, чем ограничивается поворот поршня.

На проушине рамы имеется паз с эксцентрическим дном. В этот паз входит отросток *17* выбрасывателя. При закрывании затвора без гильзы отросток отжимается дном этого паза и заставляет лапку выбрасывателя отойти вперед. При заряжании гильза своей закраиной отводит лапку выбрасывателя.

Для действия рукоятью на ней укрепляется ручка *18,* которая в то же время служит для удержания рукояти на месте при запертом затворе. Это достигается тем, что на рукояти имеется выступ, сцепляющийся с выступом на раме (в некоторых системах на гребенке). Ручка укрепляется на рукояти не наглухо, а так, чтобы она могла двигаться в вертикальном направлении. Пружина удерживает ручку постоянно в верхнем положении, при котором ее зуб *19* становится впереди зуба рамы. Для открывания затвора нажимают ручку вниз, ее зуб опускается, и против зуба рамы приходится паз ручки. В таком положении поворот рукояти становится возможным.

Как уже было отмечено, поршневые затворы обладают тем недостатком, что при больших углах возвышения их надо удерживать в открытом положении, иначе они опускаются и мешают заряжать орудие. Для устранения этого служит стопор *20* затвора, представляющий собой двуплечий рычаг, укрепленный на оси в рукояти. Его левый конец охватывается гранями паза ручки, и при нажимании ручки верхняя грань паза опускает левый конец стопора затвора, а правый его конец поднимает. Когда нажатие ручки прекращается, пружина поднимает ручку, и нижняя грань паза возвращает этот стопор в исходное положение.

На правом конце стопора затвора имеется зуб (зацеп), который при открытом затворе заскакивает за крючок на стволе и смыкает раму со стволом. Для закрывания надо расцепить стопор затвора с крючком, что достигается нажатием на ручку рукояти, как и при открывании затвора.

Для производства выстрела в затворе имеется стреляющее приспособление (механизм), собранное внутри поршня (рис. 262). Если курок *24* оттянут назад за его длинное плечо, то он, поворачиваясь вокруг своей оси *25,* своим зацепом *26,* за взвод *28,* тянет назад ударник *27,* а последний, упираясь выступами в выступы опорной муфты *29,* тянет ее назад. Опорная муфта нажимает на боевую пружину. Короткое плечо курка своим роликом *30,* нажимая на хвост *10* трубки ударника, посылает ее вперед. Дно трубки ударника нажимает боевую пружину вперед. В результате пружина сильно сжата между втулкой и дном трубки ударника. Зацеп курка, двигаясь назад, описывает дугу круга с центром на оси курка. Ударник же может двигаться только прямолинейно; поэтому при некотором достаточном повороте курка наступает расцепление зацепа курка и взвода ударника. В этот момент боевая пружина, нажимая на опорную муфту, толкает ее вперед, а так как трубка ударника нажимается вперед еще курком, то она назад двигаться не может. Опорная муфта тянет вперед ударник. Дойдя до передней грани канала поршня, опорная муфта останавливается, а ударник по инерции продвигается вперед, боек выходит через отверстие во втулке *31* поршня за переднюю грань поршня и ударяет по дну капсюльной втулки. При этом капсюль разбивается, и происходит выстрел.

Когда усилие с курка снято, боевая пружина, будучи поджата вследствие продвижения трубки ударника вперед и имея предварительное поджатие, упираясь в неподвижную теперь опорную втулку, отодвигает трубку ударника назад; трубка задней поверхностью своего дна отодвигает ударник, и боек прячется внутрь поршня, чем обеспечивается безопасность закрывания затвора (если бы боек не спрятался, то при закрывании мог бы произойти удар бойка по капсюлю). Двигаясь назад, трубка ударника, действуя на короткое плечо курка, поворачивает его вокруг

оси, и его зацеп ударяет по взводу. Последний поворачивается, пропускает зацеп курка и действием своей пружинки вновь сцепляется с зацепом, — стреляющее приспособление готово к повторному спуску, производству выстрела.

Невозможность производства выстрела при не вполне закрытом затворе обеспечивается следующими мерами:

а) Хвост трубки ударника скользит при открывании и закрывании затвора по гребню *15* поршня; следовательно, хвост, а также и трубка ударника не могут быть продвинуты вперед. При вполне запертом затворе, когда поршень полностью повернут, хвост трубки ударника сходит с гребня поршня, и продвижение трубки ударника вперед, а следовательно, и производство выстрела становятся возможными.

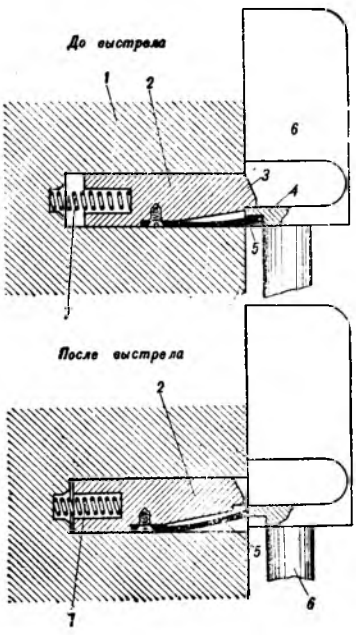


Рис. 263. Схема предохранителя на случай затяжных выстрелов:

1 — ствол; *2* — предохранитель; *3* — зуб предохранителя; *4* — ребро гребенки; *5* — плоская пружина; *6* — гребенка; *7* — пружина

б) Поршень вращается не вокруг оси канала ствола, а вокруг оси патрубка *6* рамы *7*, расположенной выше оси канала. Вследствие этого отверстие в поршне для бойка ударника при поршне, помещенном в гнезде, но не повернутом, приходится левее и выше оси ударника, расположенного в канале патрубка по оси канала ствола. Только при полном повороте поршня, при его закрывании, отверстие в нем становится на оси канала против бойка.

Замыкание затвора достигается тем, что хвост трубки ударника во время выстрела прилегает к правой грани гребня на поршне. Трубка же в раме вращаться не может потому, что ее хвост помещен в продольном пазу в патрубке рамы.

Поворот курка (его оттягивание) производится либо посредством шнура, прикрепляемого к курку, либо толкачом-стержнем, укрепленным на люльке. Стержень оттягивается назад, а он своим задним концом поворачивает курок. После снятия усилия с рукоятки стержня последний силой пружины возвращается в исходное положение. Производство выстрела при помощи толкача выгодно в том отношении, что в случае недоката ствола выстрела произвести нельзя.

Предохранитель, на случай затяжных выстрелов, расположен в гнезде в казенной части ствола. Пружинкой он постоянно отодвигается назад, но из гнезда окончательно выйти не может, так как удерживается стопорным винтом с пяткой, входящей в паз на предохранителе. Длина паза ограничивает величину перемещения предохранителя.

Действие предохранителя состоит в следующем (рис. 263). В закрытом положении затвора зуб *3* предохранителя стоит правее ребра *4* гребенки *6*. Поэтому гребенка не может быть продвинута вправо и затвор не может быть открыт. Во время отката ствола *1* предохранитель отстает от движения ствола в силу инерции, и его зуб выходит из сцепления с ребром гребенки. Плоская пружина *5* предохранителя упирается в переднюю грань ребра гребенки и тем удерживает предохранитель в переднем положении, несмотря на то что силой пружинки *7* (а при накате и по инерции) он стремится переместиться относительно ствола назад. Когда предохранитель занимает переднее положение, гребенка может свободно передвигаться вправо, а следовательно, можно производить открывание затвора.

При закрывании затвора гребенка упирается в наклонную правую грань зуба предохранителя и отодвигает его вперед. Когда гребенка продвинется влево, предохранитель силой своей пружины выталкивается назад, и его зуб входит в паз гребенки.

Для первого открывания затвора или когда выстрел не произошел (осечка), предохранитель нажатием на имеющийся на нем выступ отводится вперед, и все части его занимают положение „после выстрела".

Во многих затворах имеется приспособление для отвода предохранителя вперед, что необходимо при учебных занятиях. Это имеет то достоинство, что орудийный расчет при обучении действию затвором не нужно обучать приему отвода предохранителя вперед, которого при стрельбе не должно быть. Но, с другой стороны, выключатель предохранителя по невнимательности может быть и при стрельбе поставлен на учебное положение и работать не будет.

Направляющая планка служит для облегчения введения снаряда в канал ствола при заряжании. В затворном гнезде имеются выступы и пазы, вследствие чего при посылании в канал ствола снаряд может утыкаться в эти неровности своей головной частью, а при дальнейшем его движении — и ведущим пояском. Направляющая планка устраняет эти неудобства: при открывании затвора она поднимается и подается несколько вперед, и снаряд, двигающийся по ее верхнему жолобу, не может утыкаться; при закрывании затвора она опускается на свое место и не мешает закрыванию затвора.

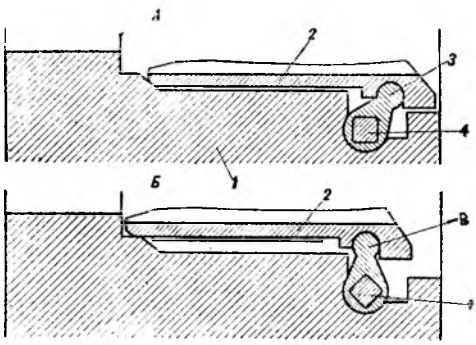


Рис. 264. Схема работы направляющей планки:

1 — ствол; *2* — направляющая планка; *3* — рычаг планки; *4* — ось рычага

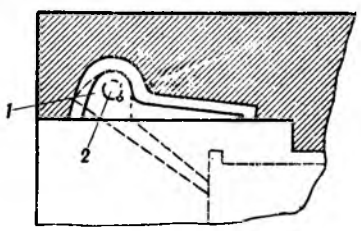


Рис. 265. Удержник гильзы (патрона):

1 — удержник; *2* — ось удержника

Движение передается планке следующим образом (рис. 262). На нижнем конце оси рукояти, квадратного сечения, надета муфта *21* с фигурным пазом. В этот паз входит кулачок оси *22* подъемного рычага *23* планки. При повороте рукояти затвора для его открывания, после того как поршень начинает выходить из затворного гнезда, кулачок оси планки под давлением грани паза муфты поворачивает ось рычага и рычаг, а последний поднимает планку и двигает ее вперед, как показано на рис. 264, *А* и *Б*. При закрывании действия происходят в обратном порядке. От спадания муфта на оси удерживается пружинной защелкой.

При больших углах возвышения можно опасаться выпадения гильзы, а при плохой досылке — и выпадения снаряда. Для предупреждения этого устраивается удержник (рис. 265), действие которого связано с открыванием и закрыванием затвора. Удержник *1* посажен на оси *2* со шпонкой. В закрытом положении он удерживается шпонкой оси в поднятом положении. В конце поворота рукояти затвора, после выбрасывания гильзы, ось удержника зацепом рукояти продвигается вправо, ее шпонка выходит из паза удержника, и в отверстие удержника входит цилиндрическая часть оси без шпонки. Тогда удержник своим весом опускается и занимает наклонное положение, показанное пунктиром. При заряжании снаряд и гильза приподнимают передний конец удержника, и как только

дно снаряда или гильза продвигается, удержник опускается и мешает выпадению снаряда и гильзы. При закрывании затвора поршень поднимает удержник. В конце поворота рукояти затвора она нажимает на головку оси удержника и продвигает ее влево. Ее шпонка входит в паз удержника и удерживает его в верхнем положении.

Наконец, в затворах имеются предохранители (взаимной замкнутости), не позволяющие открыть затвор до вполне надежного смыкания откатных частей с противооткатными устройствами, и предохранители на случай недокатов.

Работа первых предохранителей поясняется рис. 266. В гайке или муфте *3*, посредством которой производится смыкание откатных частей с противооткатными устройствами, имеется эксцентрический паз *5* (кулиса). В этот паз входит выступ стержня *4*, проходящего сквозь стенку ствола. Если противооткатные приспособления не сомкнуты со стволом, что и показано на рис. 266, то стержень гранью кулисы продвигается внутрь ствола, и его верхний конец входит в гнездо поршня *2*. При смыкании ствола с противооткатными приспособлениями, наоборот, стержень давлением грани кулисы опускается, и только при окончании поворота муфты, когда достигнуто надежное смыкание упомянутых частей, стержень выходит из гнезда в затворе.

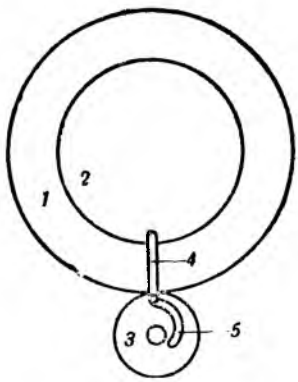


Рис. 266. Механизм взаимной замкнутости:

1 — ствол; *2* — поршень; *3* — муфта; *4* — стержень; *5* — кулиса

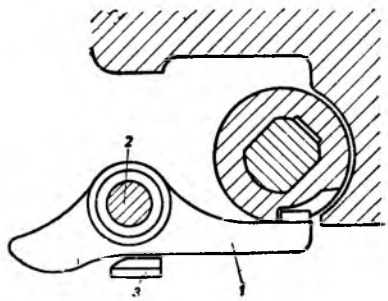


Рис. 267. Предохранитель на случай недокатов:

1 — защелка; *2* — ось защелки; *3* — клин на люльке

Предохранитель, не позволяющий произвести выстрел, когда ствол не докатился на место, устраивают редко, так как очень часто выстрел производится действием толкача, как об этом уже было сказано раньше. Устройство специального предохранителя поясняется рис. 267. На стволе при помощи оси *2* укреплена защелка *1*, побуждаемая пружиной (на рисунке) кверху. В верхнем положении зуб защелки входит в паз (рис. 266) на муфте *3* (на рис. 262 она обозначена цифрой *21*), надетой на ось рукояти затвора. При таком положении частей, отвечающем недокату ствола, открыть затвор нельзя. При накате клин *3* (рис. 267), укрепленный на люльке, нажимает на выступ защелки и поворачивает ее, отчего зуб защелки выходит из паза муфты и открывание затвора становится возможным.

9. Затвор с продольным движением в раме

Первые по времени появления поршневые затворы были построены по принципу продольного движения в раме и поворота. Они получили особо широкое распространение в восьмидесятых годах прошлого столетия, когда Банж предложил свой обтюратор. В настоящее время затворы этого вида находят применение преимущественно в орудиях большого калибра. Для вращения и продольного движения поршня здесь применяются весьма разнообразного устройства механизмы, которые благодаря передачам значительно облегчают работу действующего номера.

Схема устройства такого затвора показана на рис. 268. Затвор изображен в закрытом положении. Для открывания затвора нужно вращать рукоять *1*, посаженную на оси червяка *2*. Вследствие этого происходит вращение оси *3* шарнира. На оси шарнира укреплена муфта *4*, имеющая на двух участках зубцы: на одном—наклонные к оси шарнира, на другом—параллельные. При закрытом положении поршня наклонные зубцы сцепляются с наклонными зубцами на поршне, и при вращении муфты вследствие этого зацепления происходит поворот поршня *5*. После поворота поршня на требуемый угол прямые зубцы, представляющие участок

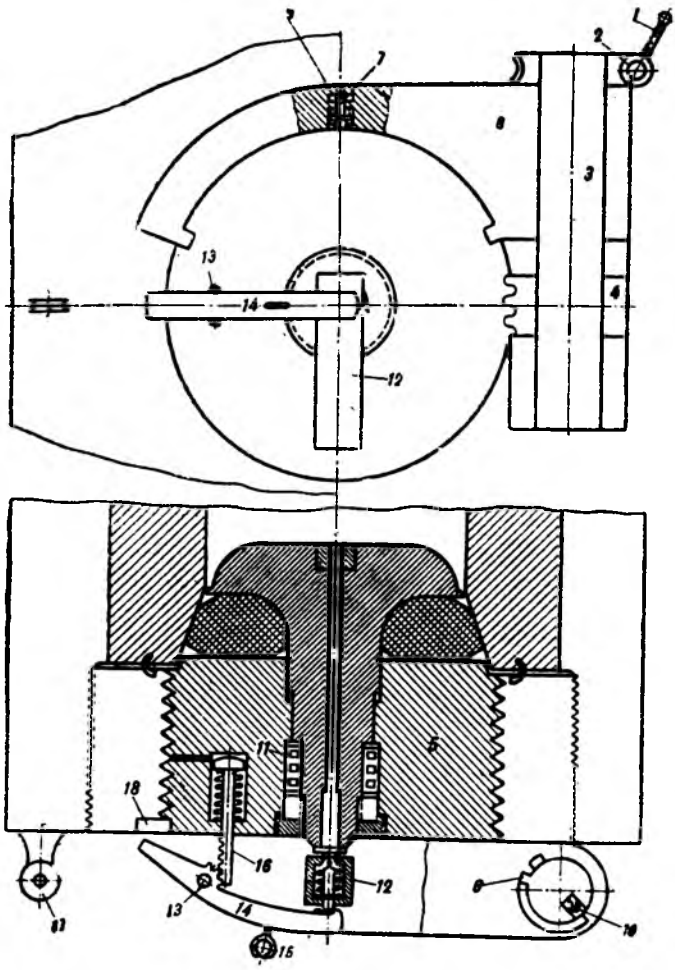


Рис. 268. Поршневой затвор с продольным движением в раме:

1 — рукоять; *2* — червяк; *3* — ось; *4* — муфта; *5* — поршень; *6* — шпонка; *7* — стопор; *8* — рама; *9* — палец; *10* — шпонка оси и рамы; *11* — пружинка грибовидного стержня; *12* — планка-затвор; *13* — ось курка; *14* — курок; *15* — кольцо курка; *16* — стержень; *17* — блок; *18* — паз

цилиндрического зубчатого колеса, сцепляются с рейкой, имеющейся на поверхности поршня, и, действуя на зубцы рейки, выдвигают поршень из затворного гнезда. Когда поршень выдвинут, то шпонка *6* на оси шарнира прилегает к другой грани паза в проушине рамы, так же как в предыдущем типе затвора, и побуждает всю раму с поршнем отойти от ствола.

Следует обратить внимание на следующее. Когда поршень начинает выдвигаться, он увлекает за собой раму, и рама может хотя бы немного отойти от казенного среза ствола. Если это случится, то поршень,

сохраняя направление своей оси относительно рамы, перекосится в затворном гнезде, и дальнейшее открывание затвора станет невозможным. Для предупреждения этого на время продольного движения поршня при открывании затвора рама *8* связывается со стволом стопором *7*, помещенным в гнезде рамы и входящим верхним концом в гнездо пальца *9*, укрепленного на стволе. Когда поршень выдвинут, то под стопор подходит гнездо на поршне, куда стопор и выжимается своей пружиной. В это время шпоночный выступ на оси шарнира прилегает к правой грани канала проушины, и весь затвор начинает отходить от ствола вправо.

Поршень закрывается вращением рукояти в обратную сторону. Так как он имеет большой вес, то на оси шарнира и на проушинах рамы и ствола возникают большие давления, а стало быть, и большие трения. Эти силы могут удержать раму на месте, и поршень будет в нее вдвигаться — закрывание затвора станет невозможным. Это предупреждается тем, что подобно стопору гребенки, описанному ранее, здесь работает особая шпонка *10*, смыкающая раму с осью (рис. 268) так, что рама непременно будет вращаться, как только начнет вращаться ось шарнира. Когда рама прилегает к казенному срезу ствола, шпонка утапливается и освобождает раму от оси, или, лучше сказать, ось от рамы, и ось вращается внутри проушины рамы. Цилиндрическая часть шестерни посылает поршень вперед, а затем наклонные зубцы ее поворачивают поршень. Затвор закрывается.

Обтюратор Банжа и его работа описаны раньше. Добавим только, что, во избежание продвигания вперед грибовидного стержня при закрывании затвора и для предварительного его нажатия на подушку, грибовидный стержень оттягивается назад пружиной *11*, упирающейся передним концом в поршень, а задним — в гайку, навинченную на хвост стержня.

Выстрел производится при помощи воспламенительной трубки, которая вставляется сзади в канал грибовидного стержня. По капсюлю трубки ударяет боек ударника, помещенного в особой планке-затворе *12*. Планка может двигаться между двумя направляющими на поршне и удерживается в верхнем (закрытом) положении защелкой, западающей под действием своей пружины в вырез на планке. На поршне на оси *13* укреплен двуплечий рычаг — курок *14*. Если курок оттягивать за имеющееся на нем кольцо *15* назад, то он будет поворачиваться вокруг оси шарнира. На курке имеется участок цилиндрического зубчатого колеса, которое сцепляется с рейкой стержня *16* и пружиной. При оттягивании курка зубчатое колесо вытягивает стержень из его гнезда в поршне и сжимает пружину. Если отпустить курок, то сжатая пружина стержня энергично поворачивает курок в обратную сторону, боек молотка ударяет по ударнику, а последний — своим бойком по капсюлю. Луч огня, пройдя канал грибовидного стержня, воспламеняет воспламенитель заряда, а последний — заряд.

Чтобы срыв молотка происходил в тот момент, когда пружина стержня достаточно сильно сжата, и тем гарантировать от осечек, сделано следующее. В кольце курка сделан пропил, через который вставляется кольцо или крючок вытяжного шнура, огибающего блок *17*, укрепленный на стволе. Если тянуть за шнур, то крючок шнура лишь тогда выйдет через пропил кольца, когда этот пропил придется на направлении шнура. Этим достигается постоянство величины поворота курка, а следовательно, и постоянство сжатия пружины стержня и силы удара.

Невозможность производства выстрела при не вполне запертом затворе достигается тем, что при повороте курка его другое плечо поворачивается к стволу. В стволе имеется паз *18*. Если затвор вполне закрыт, то плечо молотка приходится над этим пазом, и поворот молотка возможен. Если же затвор не вполне закрыт, то это плечо, упираясь в ствол, не позволяет повернуться курку.

Предохранитель на случай затяжных выстрелов устроен аналогично уже описанному в предыдущем параграфе, с той лишь разницей, что там

выступ предохранителя входит в паз гребенки для замыкания затвора, а в данном случае он входит в паз на планке, прикрепленной к поршню. При откате предохранитель отстает, и его пластинчатая пружина упирается в гребень, имеющийся на той же планке.

Замыкание поршня достигается как предохранителем на случай затяжных выстрелов, так и защелкой в рукояти, заскакивающей своим соском в гнездо на стволе. Освобождение защелки при открывании затвора происходит при охвате ручки рукой действующего номера.

10. Понятие об автоматическом затворе

Описанные типы затворов приводятся в действие усилиями людей, причем для производства выстрела из орудия гильзового заряжания нужны следующие действия:

1) открыть затвор;
2) выбросить гильзу;
3) зарядить (вложить снаряд и заряд или патрон);
4) закрыть затвор;
5) взвести ударник;
6) спустить ударник—произвести выстрел.

В осуществленных системах обычно пятое и шестое действия выполняются одним приемом. В некоторых системах небольших калибров ударник взводится при открывании затвора. Это особенно удобно в орудиях с откидными затворами, так как взвод боевой пружины требует некоторой энергии, которая в этом случае получается от падения затвора. В последних годах прошлого столетия, когда начали развиваться скорострельные орудия, возникла мысль использовать долю энергии пороховых газов для выполнения всех или некоторых из перечисленных действий.

Если все эти действия выполняются за счет энергии газов при выстреле, орудие называют автоматическим; если же только несколько действий или хотя бы одно выполняется за этот счет, то орудие называют полуавтоматическим[1].

11. Полуавтоматические затворы

Полуавтоматические затворы имеют весьма разнообразное устройство. Действие полуавтоматики основывается в грубой схеме на взведении каким-либо путем пружины и на использовании накопленной пружиной (пружинами) энергии для производства той или иной работы.

Действие полуавтоматики (взведение пружин) основывается на следующих принципах:

1) для взведения пружины используется энергия действующего затвором человека;
2) используется инерция масс при откате или накате;
3) используется часть энергии отката или наката.

Для пояснения этих принципов приведем описание некоторых затворов.

12. Полуавтоматический затвор, использующий энергию наката

Для первого заряжания рукоять *1* (рис. 269) поворачивают вручную назад. При этом двигается назад шарнирно связанный с ней стержень *2*, шайба которого сжимает аккумуляторную пружину, заключенную в коробке *3* на стволе орудия. В опущенном положении клин удерживается лапками выбрасывателя. При досылке патрона лапки сбиваются ударом закраины гильзы, и пружина, разжимаясь, посылает вперед стержень, который заставляет рукоять вращаться в обратном направлении и тем самым закрывает затвор.

[1] Принципы автоматики рассматриваются в следующем отделе курса.

При выстреле ствол вместе с коробкой и стержнем движутся назад, упор же *4* остается на месте, так как он укреплен на люльке.

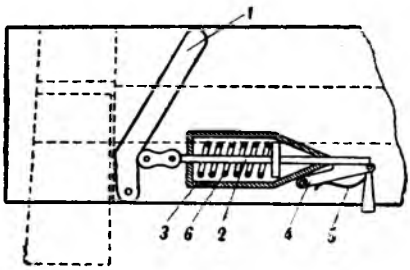


Рис. 269. Схема полуавтоматики, использующей энергию наката:

1 — рукоять; *2* — стержень; *3* — коробка; *4* — упор; *5* — пружина упора; *6* — запирающая пружина

При накате стержень доходит до выступа упора и останавливается, а ствол продолжает накат. Вследствие этого стержень нажимает на рукоять и заставляет ее поворачиваться назад, а следовательно, и открывать затвор. Одновременно шайба стержня сжимает пружину *6*.

Когда ствол накатится на место, затвор уже будет открыт, и лапки выбрасывателя, выбросив гильзу, своими захватами удержат клин в нижнем положении; пружина *6* сжата. Коническая часть коробки при накате, действуя на ролик упора *4*, опускает последний вниз, и упор освобождает стержень, который вместе с орудием еще несколько продвигается вперед.

При откате упор *4* поднимается вверх пружиной *5*.

Если в этой полуавтоматике не устраивать упора *4*, то затвор сам открываться не будет. Тогда перед каждым выстрелом придется открывать затвор вручную, и получится тип полуавтоматики с использованием энергии людей.

13. Полуавтоматика смешанного типа

Полуавтоматики, основанной на использовании инерции, в чистом виде нет потому, что сместившиеся одна относительно другой детали до определенного момента застопориваются за счет энергии отката или наката.

В описываемой ниже схеме полуавтоматики смешанного типа использована и инерция тел и энергия наката. Полуавтоматика, устроенная по этой схеме, применена к клиновому затвору (рис. 259). Механизм полуавтоматики собран в трубе, прикрепленной к стволу[1].

При выстреле ствол с прикрепленной к нему трубой *1* (рис. 270) откатывается, а инерционное тело *2* с его дном *3* по инерции остается на месте, сжимая при этом пружину *4*, которая двигается со стволом, так как она стержнем *5* шарнирно скрепляется с осью *15* подъемных рычагов затвора. При некоторой длине отката, а следовательно, и сжатии приблизительно на эту же длину запирающей пружины *4*, в ней возникают напряжения, которые превышают силы инерции инерционного тела, и тогда пружина может разжаться и вернуть инерционное тело в его исходное место. Чтобы этого не случилось, на инерционном теле укреплена защелка *6*, которая пружинкой *7* выталкивается в окно трубы, как только защелка становится против окна. Другая защелка *8* под действием пружинки *9* поднимается и упирается в стакан, укрепленный на стержне *5*. В таком взведенном положении система откатывается дальше.

При накате стакан *10* упирается в упор *11* на люльке и останавливается. Все же откатные части продолжают накат. Открывающая пружина *12* сжимается между дном стакана *10* и закраиной направляющего стержня *13*, упирающейся в уступ на внутренней поверхности канала инерционного тела. Инерционное тело, надвигаясь на остановившийся стакан, доходит до такого положения, что нижний выступ стакана *10* нажимает на хвост защелки *6*, отчего ее задний конец выходит из окна в трубе и инерционное тело размыкается с трубой. По мере продолжения наката открывающая пружина, сжимаясь все сильнее и сильнее, приобретает столь большое напряжение, что дальнейшее движение стержня *13* вперед прекращается. В результате этого останавливаются также инерционное тело, защелка *8* и стержень *5*, который останавливает нижний конец кривошипа (мотыля) *14*, насаженного на квадратный участок

[1] Обозначенная на рис. 270 цифрой *15* ось обозначена цифрой *3* на рис. 259.

оси *15* подъемных рычагов затвора. Вследствие продолжающегося движения оси *15* вместе со стволом мотыль поворачивается вокруг болта, соединяющего его со стержнем *5*, вращая вместе с тем ось *15*, что приводит к открыванию затвора.

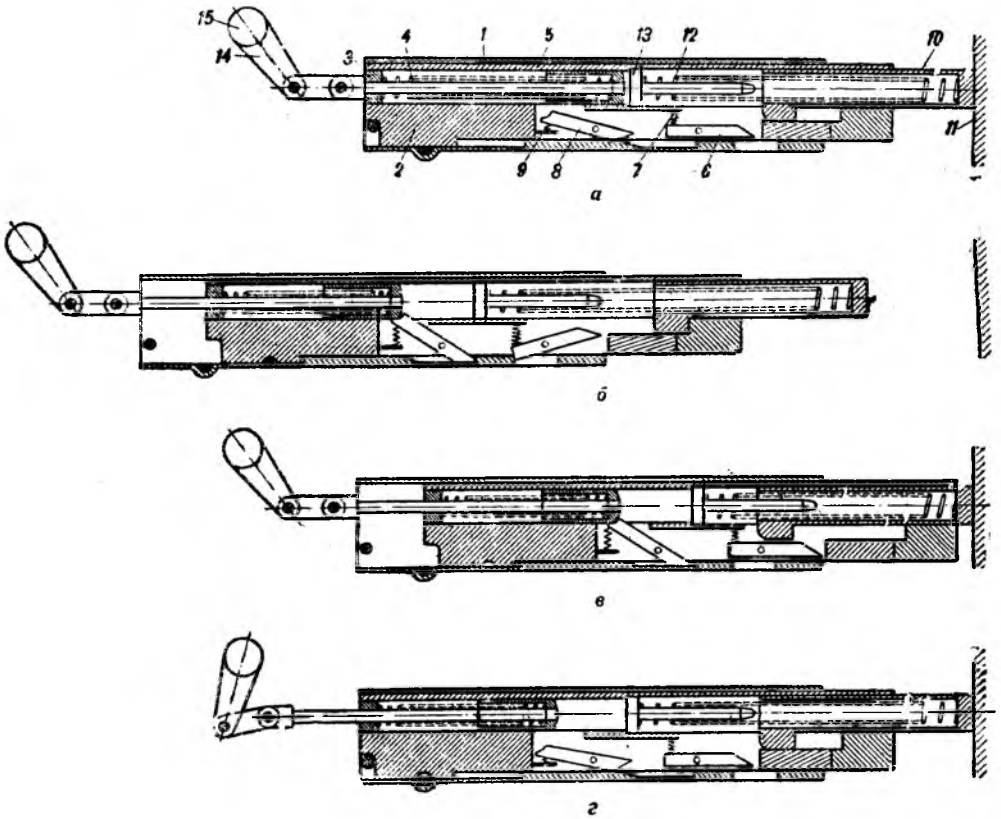


Рис. 270. Схема полуавтоматики смешанного типа:

а — положение до выстрела при закрытом затворе; *б* — положение после отката; *в* — положение в конце наката — момент начала открывания затвора; *г* — положение при открытом затворе;

1 — труба; *2* — инерционное тело; *3* — дно инерционного тела; *4* — запирающая пружина; *5* — стержень; *6* и *8* — защелки; *7* и *9* — пружины защелок; *10* — стакан; *11* — упор на люльке; *12* — открывающая пружина; *13* — направляющий стержень; *14* — кривошип; *15* — ось подъемных рычагов клина

В открытом положении затвор удерживается (как это практикуется почти во всех полуавтоматических затворах) особыми зацепами на лапках выбрасывателя, захватывающими за выступы на затворе.

При заряжании закраина гильзы отводит лапки выбрасывателя вперед, и клин усилием закрывающей и уравновешивающей пружин запирается.

ГЛАВА III

УСТРОЙСТВО ЛАФЕТОВ. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

1. Требования к лафетам

К лафету как к боевому станку предъявляют такие требования:

1) позволять быстро, плавно и с небольшим усилием выполнять боковую и вертикальную наводку;

2) быть прочным и устойчивым при выстреле, т. е. не смещаться и не откатываться; иногда это заключается в требовании несбиваемости прицельной линии, т. е. самовосстановления наводки без участия орудийного расчета;

3) быть безоткатным или же самонакатывающимся, если допускается откат.

2. Противооткатные устройства

Противооткатные приспособления включают следующие механизмы:

а) тормоз отката;
б) накатник;
в) тормоз наката;
г) сальники и воротники;
д) буферы;
е) приспособления для наполнения жидкостью и воздухом;
ж) особые механизмы: механизмы для изменения длины отката, механизмы для изменения работы противооткатных приспособлений с изменением углов возвышения и компенсаторы для пополнения жидкости при недостатке ее или для помещения избытка ее, получаемого вследствие расширения при нагреве.

3. Тормозы отката [1]

Важнейшими средствами ограничения отката в настоящее время являются гидравлические тормозы отката. Наряду с ними применяются и другие средства: дульные тормозы и откат по наклонным и дуговым поверхностям; часть энергии отката расходуется на преодоление действия силы тяжести.

4. Накатники

Накатники делаются либо пружинными, либо пневматическими (воздушные), причем иногда их соединяют с тормозом отката в один агрегат.

Как в том, так и в другом случае с откатными частями откатывается либо шток с поршнем, либо цилиндр. Между дном цилиндра и поршнем расположены либо пружины, либо воздух, которые при откате сжимаются между поршнем и дном цилиндра и накапливают энергию для наката откатных частей в исходное положение.

Общая схема пружинного накатника изображена на рис. 271. На цилиндр *2* тормоза надета колонка пружин *3*, которая предварительно поджимается между дном люльки *1* и закраиной цилиндра тормоза.

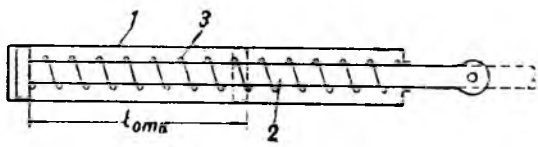


Рис. 271. Схема пружинного накатника:

1 — люлька; *2* — цилиндр тормоза; *3* — колонка пружин

При выстреле люлька, соединенная цапфами со станком, остается на месте. Цилиндр тормоза откатывается. Вследствие этого пружина сжимается между закраиной цилиндра и дном люльки. Сжатие пружины при откате равно длине отката.

Принимая во внимание большую длину отката, легко понять, что пружина в свободном состоянии имеет очень большую длину. Для замены пружины нужно было бы возить запасную, что при большой ее длине представляло бы неудобства из-за ее большого веса и громоздкости. Поэтому обычно пружину делают не цельной, а пользуются колонкой пружин, состоящей из нескольких пружин.

Так как винтовые пружины при их сжимании раскручиваются, а при разжимании закручиваются, то на поверхностях опор могут получаться моменты, вращающие опорные части, а стало быть, возможно нарушение их прочного скрепления либо с люлькой, либо с цилиндром тормоза. Чтобы избежать этого, пружины, составляющие колонку, завивают в разные стороны и собирают их в колонку вперемежку: правая, левая, правая,

[1] Схемы тормозов отката даны выше.

левая и т. д. Кроме того, для устранения вредного влияния скручивания и раскручивания пружин следует между торцами пружин и опорными поверхностями прокладывать медные кольца или шарикоподшипники.

В настоящее время находят все более и более широкое применение пружинные накатники с телескопическим расположением пружин.

Схема устройства телескопического накатника приведена на рис. 272. По этой схеме каждая пружина сжимается на величину, приблизительно вдвое меньшую, чем при применении одиночной пружины, а следовательно, она работает в более выгодных условиях. Нетрудно видеть, что по этой схеме можно устроить накатник и с бо́льшим числом пружин: 3, 4 и т. д., благодаря чему все пружины при откате будут весьма мало напряжены. Это, однако, приводит к значительному утяжелению системы.

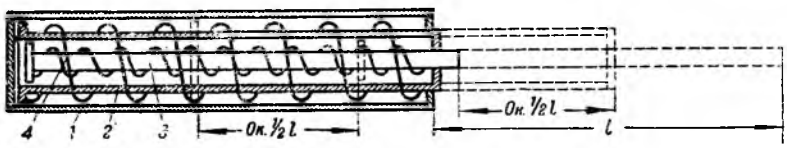


Рис. 272. Схема телескопического накатника:

l — длина отката; *1* — люлька; *2* — труба; *3* — шток; *4* — пружина

Телескопические накатники выгодны еще и потому, что при их применении люлька или цилиндр накатника может быть сделана короче на величину сжатой до предела пружины.

В пневматических накатниках при откате сжимаются в особых резервуарах либо воздух, либо азот. Азот выгоден в том отношении, что он не вызывает коррозии поверхностей резервуаров и цилиндров. Сжатие воздуха (азота) при откате чаще всего получается не непосредственно давлением на него поршня, а нагнетанием жидкости в замкнутые резервуары со сжатым воздухом. В этом случае жидкость является не только передатчиком давления, но и устраняет утечку воздуха. В накатниках, в которых воздух сжимается (в цилиндре накатника) непосредственно поршнем, непроницаемость поршня и сальников достигается введением гидравлических затворов.

5. Компенсаторы

Жидкость в тормозных приспособлениях при откате и накате нагревается, а следовательно, расширяется; в результате она должна занимать больший объем; а так как объем цилиндра определенный, то из-за этого получаются недокаты. Для устранения недокатов при продолжительной стрельбе приходится выпускать некоторое количество жидкости и по нескольку раз.

При перерыве в стрельбе жидкость остывает, ее объем уменьшается, и тогда приходится жидкость доливать, иначе будут получаться большие, резкие откаты и накаты (если тормоз наката расположен в тормозе отката).

При продолжительной стрельбе жидкость может дойти до кипения; тогда получатся большие недокаты и даже возможно повреждение лафета. Для предупреждения этого стрельбу нужно вести с перерывами. Выпуская жидкость, доведенную до кипения, нужно следить, чтобы ее не вытекло слишком много вследствие давления пара.

В таблице 64 приведены температуры жидкости в тормозе и недокаты при угле возвышения 0°, полученные при стрельбе со скоростью стрельбы 2 выстрела в минуту из полевой гаубицы, имеющей следующие характеристики: вес снаряда — 15 *кг*, начальная скорость — 475 *м/сек*, вес откатных частей — 620 *кг*, заряд — 0,8 *кг*, вес жидкости в тормозе 9 *кг*[1].

[1] К о р д ь е, Проектирование артиллерийских систем, Лафеты, ч. II, 1934, стр. 86—87.

Таблица 64

Число выстрелов	Температура жидкости в °С	Недокат при угле возвышения 0° в *мм*	Примечание
120	117	—	При температуре около 200° жидкость начинает кипеть. Температура кипения высокая, так как жидкость находится под большим давлением
200	165	115	
275	200	190	
285	200	190	

Все это приводит к необходимости введения в состав противооткатных приспособлений механизмов, позволяющих быстро регулировать их работу в случае нагрева жидкости или регулирующих их работу автоматически. В настоящее время для этого в тормозах многих систем применяют компенсаторы, или уравнители жидкости, представляющие собой добавочный резервуар, из которого жидкость поступает в цилиндр тормоза при ее недостатке или в который она поступает из цилиндра тормоза при ее расширении.

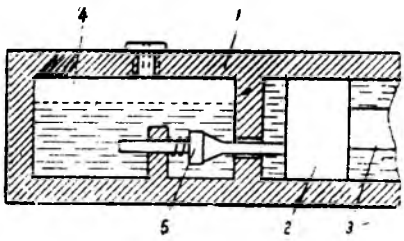


Рис. 273. Схема компенсатора:

1 — цилиндр тормоза; *2* — поршень; *3*—шток; *4* — резервуар; *5* — клапан

Приведем схемы устройства некоторых компенсаторов.

1. С цилиндром *1* тормоза (рис. 273) соединяется каналом, закрываемым клапаном *5*, резервуар *4* с жидкостью. При откате действием пружины и жидкости клапан прижимается к седлу; поэтому жидкость из резервуара не имеет возможности поступать внутрь цилиндра тормоза. При накате (в конце наката) поршень продвигает клапан внутрь резервуара, и жидкость из резервуара может поступать в цилиндр тормоза или, в случае ее нагрева, из цилиндра тормоза в резервуар. Резервуар имеет отверстие, через которое он может быть наполнен жидкостью. Это отверстие закрывают крышкой.

2. В отделении *4* (рис. 274) цилиндра *1* тормоза помещается поршень *5*, с одной стороны которого находится жидкость, а с другой — пружина. При разогреве жидкость, расширяясь, отодвигает поршень, сжимая пружину. По охлаждении жидкости поршень продвигается под давлением пружины в обратном направлении, и цилиндр тормоза вновь заполняется жидкостью.

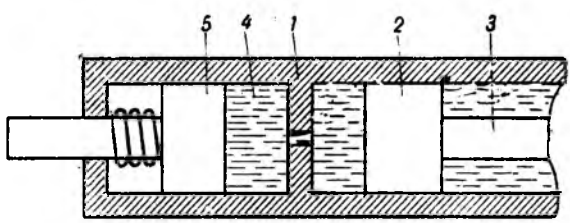


Рис. 274. Схема компенсатора:

1 — цилиндр тормоза; *2* — поршень; *3* — шток; *4* — отделение цилиндра тормоза; *5* — поршень компенсатора

Отверстие в перегородке, отделяющей цилиндр тормоза от компенсатора, делается очень малого размера, с тем чтобы при каждом откате и накате жидкость не переходила из одного объема в другой, так как это может испортить все приспособление. Только при нагреве жидкость постепенно продавливается через это отверстие.

При подобном устройстве компенсатора жидкость в тормозе отката постоянно находится под давлением, почему нужно обращать особое внимание на устройство сальников.

Для достижения правильной работы противооткатных приспособлений и увеличения продолжительности стрельбы можно также применять охлаждение, но это менее удобно ввиду увеличения веса и усложнения системы, чем при пользовании компенсатором.

6. Сальники

Для предупреждения утечки жидкости из цилиндров устраивают сальники, представляющие собой сальниковую набивку *8* из асбестового или пенькового жгута, пропитанного салом, или кожаные кольца, сильно поджимаемые пружиной *10* и гайкой *12*. Кольца устроены так, что набивка сжимается ими не только по оси, но и в перпендикулярном направлении, как это видно из рис. 275. Благодаря этому набивка плотно облегает шток и не пропускает жидкости. Но так как при откате и накате внутри жидкости получается большое давление (около 100 *кг/см*²) и так как применяемая в тормозах жидкость обладает способностью смачивать сталь, то шток, даже при наличии сальника, выходит из цилиндра смоченным. При обратном движении жидкость, смачивающая шток, не может войти вместе со штоком внутрь цилиндра, как вследствие большого давления внутри цилиндра, так и вследствие сильного обжатия штока набивкой. Таким образом, при каждом откате из цилиндра тормоза (накатника) на штоке выносится некоторое количество жидкости, что при большом числе выстрелов может сказаться на правильности работы противооткатных приспособлений.

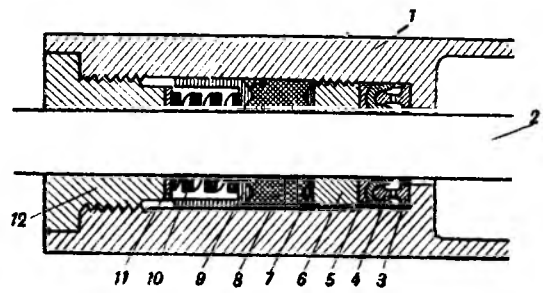


Рис. 275. Сальник:

1 — цилиндр тормоза; *2* — шток; *3*—подворотниковое кольцо; *4* — воротник; *5* — надворотниковое кольцо; *6* — гайка; *7* — треугольное кольцо; *8* — набивка; *9* — стакан для пружины; *10* — пружина; *11* — шайба; *12* — нажимная гайка

Для обтирания штока устраивают воротники *4* (манжеты), представляющие собой кожаные или из другого материала (резиновые, дерматиновые) кольца П-образного сечения, в которые вкладывают подворотниковые металлические кольца *3*, имеющие сечение в виде рельса с отверстиями как в его основании, так и в его стойке. Через эти отверстия жидкость поступает внутрь воротника. При откате или накате жидкость, попавшая внутрь воротника, сильно прижимает его к штоку, благодаря чему полки воротника и обтирают шток досуха. Обычно для создания условий правильной работы воротника на него накладывают надворотниковое кольцо из того же материала, что и воротник; удерживается все воротниковое приспособление гайкой *6* или перегородкой в корпусе сальника.

7. Жидкость для наполнения тормозов и накатников

Жидкость для наполнения цилиндров тормозов и накатников должна быть достаточно вязкой (малотекучей), чтобы оказывать большее сопротивление переливанию, по возможности мало изменять свои свойства при изменении температуры и не должна вредно действовать на металлы и другие материалы, с которыми она соприкасается.

Для противооткатных приспособлений применяется главным образом веретенное масло или смесь глицерина с прокипяченной водой (приблизительно в соотношении 1 : 1). Обе эти жидкости не вполне удовлетворяют требованиям. Глицерин в глицериновой смеси при соприкосновении с воздухом окисляется и способен разъедать металлы, почему в состав глицериновой смеси вводят нейтрализующие вещества: буру, соду, щелочи. В глицериновую смесь для тормозов прибавляют на 1 *л* смеси 10 *г* буры, а на 1 *л* жидкости для накатника — 40 *г* соды или едкого натра. Буру или соду прибавляют для предупреждения появления ржавчины и уменьшения ее распространения. Для накатников употребляют соду или едкий натр, а не буру, потому что жидкость смешивается при работе с воздухом.

Веретенное масло на металлы не действует, но, будучи продуктом перегонки нефти, оно содержит остатки бензина и керосина, которые разрушительно действуют на кожу и в особенности на резину.

В жидкостях не должно быть твердых примесей.

Для уменьшения расширения при нагревании желательно выбирать жидкости с большой удельной теплоемкостью, так как при этом одно и то же количество теплоты, сообщенное жидкости, менее изменит ее температуру. Желательно также, чтобы жидкость имела малый коэфициент объемного расширения при изменении температуры. Жидкость должна быть незамерзающей.

Названные выше жидкости характеризуются следующими данными.

Таблица 65

Характеристика	Веретенное масло	Глицериновая смесь
Удельный вес	0,90	1,14—1,18
Вязкость	0,65	0,60
Удельная теплоемкость	0,46	0,76
Коэфициент объемного расширения	0,007	0,0055

Эти данные показывают, что приведенные жидкости не взаимозаменяемы.

При низких температурах (—50° С) веретенное масло сильно сгущается, а в глицериновой смеси появляются кристаллы замерзшей воды, вследствие чего сопротивление откату сильно увеличивается. Стрельба при этом становится опасной для системы. Отсюда надо сделать вывод, что при низких температурах следует производить первые выстрелы уменьшенными зарядами. Для авиационных установок, в которых во время полетов колебания температуры достигают большой величины вследствие изменения высоты полета, должны применяться термостаты или специальные обогреватели.

8. Способы наполнения противооткатных устройств жидкостью и воздухом

Для наполнения тормозов жидкостью в цилиндрах тормозов устраивают отверстия, закрываемые пробками. Через эти же отверстия выпускают лишнюю жидкость. Иногда для выпуска лишней жидкости устраивают специальные отверстия.

Если жидкость находится под давлением, например в накатниках или тормозах со свободным поршнем, для доливки жидкости или подкачивания воздуха, а также для выпуска жидкости устраивают вентили.

Для наливания жидкости применяют обычные воронки или шприцы, а когда жидкость находится под давлением, то и специальные насосы. Обычно применяют насосы, которыми можно накачивать и жидкость и воздух, — так называемые насосы двойного действия.

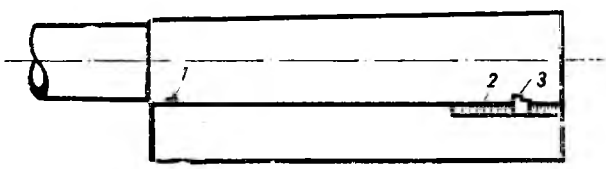


Рис. 276. Указатель отката:

1 — поводок (штырь); *2* — планка; *3* — указатель

9. Указатели отката

При правильной работе противооткатных устройств должна получаться некоторая определенная длина отката. Напротив, всякое нарушение правильности их работы вызывает либо укорочение, либо удлинение отката. Для наблюдения за длиной отката во всех системах применяют указатели длины отката.

Сущность этого устройства состоит в следующем (рис. 276). На откатывающихся частях устраивают поводок *1* в виде выступающей части. На неподвижных частях укрепляют планку *2* с делениями, по которой может скользить указатель *3*.

При откате поводок задевает указатель и двигает его с собой. При накате указатель остается на том месте, на которое его отодвинул поводок. Для того чтобы указатель останавливался сейчас же, как только кончится откат, т. е. как только прекратится нажатие на него поводка, необходимо, чтобы он передвигался по планке с трением бо́льшим, чем развивающиеся в нем силы инерции.

10. Противооткатные устройства с пружинным накатником

В виде примера противооткатных устройств с пружинным накатником приведем описание их в 76-*мм* пушке обр. 1902/30 г. (рис. 277).

Противооткатные устройства собраны в люльке. Действие происходит следующим образом.

При выстреле откатывающийся ствол, будучи соединен бородой с дном цилиндра *2* тормоза, увлекает последний за собой. Шток же *4* с поршнем, будучи связан с люлькой, стоит на месте. Крышка *6* цилиндра тормоза давит на жидкость (веретенное масло), занимающую всю полость цилиндра. Под давлением крышки жидкость устремляется в отверстия поршня, а затем — в просвет между регулирующим кольцом *7* и веретеном *8*. Этот просвет — переменного сечения, регулируемого веретеном. Пройдя отверстия поршня, жидкость устремляется вперед для заполнения объема штока, освобождающегося вследствие движения назад веретена с контрштоком *9*.

Жидкость, двигающаяся при откате вперед в полость штока, встречает препятствие в виде тормозной втулки *10*, укрепленной внутри штока и плотно охватывающей контршток. Для прохода жидкости вперед контршток имеет несколько сквозных отверстий близ места его соединения с веретеном. Жидкость через эти отверстия попадает во внутренний канал контрштока, откидывает вперед клапан *11* и проходит в переднюю часть канала штока.

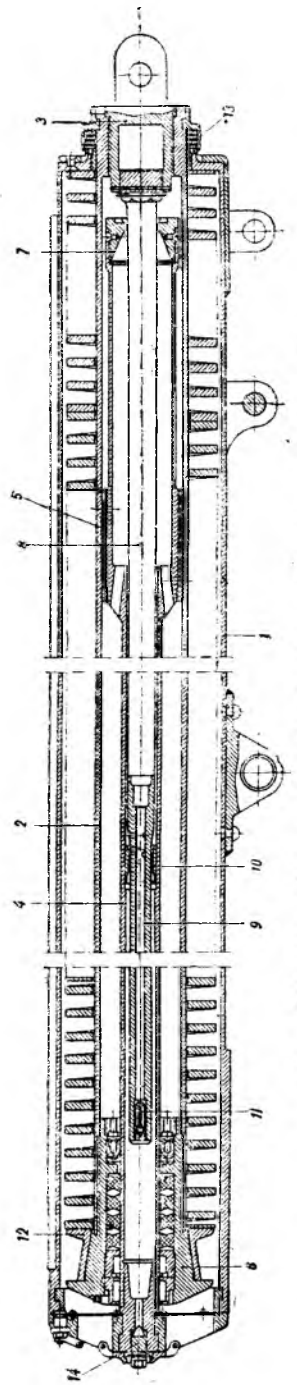


Рис. 277. Противооткатные устройства с пружинным накатником:
1 — люлька; *2* — цилиндр тормоза; *3* — дно цилиндра тормоза; *4* — шток; *5* — поршень; *6* — крышка цилиндра тормоза; *7* — регулирующее кольцо; *8* — веретено; *9* — контршток; *10* — тормозная втулка; *11* — клапан; *12* — опорная шайба; *13* — буфер; *14* — пробка

Клапан имеет вид треугольной призмы, заканчивающейся конусом, который плотно прилегает к седлу канала контрштока, когда ствол находится в переднем положении. На переднем конце клапана имеется круглая шляпка, а в клапане — продолговатое сквозное отверстие, через которое пропускают чеку значительно меньших размеров, чем отверстие, что и позволяет клапану передвигаться на небольшое расстояние. На сообщение большой скорости жидкости, перетекающей в перечисленных направлениях, и

расходуется энергия отката. Так как шток выходит из цилиндра тормоза (вернее, цилиндр тормоза сдвигается со штока), то по мере отката внутри цилиндра тормоза получается свободный объем. Этот объем образуется сзади регулирующего кольца, потому что отверстие между регулирующим кольцом и веретеном имеет наименьшую площадь по сравнению со всеми другими отверстиями, по которым продавливается жидкость.

Двигаясь назад, цилиндр тормоза закраиной передней крышки двигает назад опорную шайбу *12*, а последняя сжимает пружины накатника между своей задней поверхностью и дном неподвижной люльки.

Когда энергия отката истощится на преодоление сопротивления продавливанию жидкости и сжатие пружин, а также на сопротивление трению на полозках и в сальниках, то откатные части останавливаются, пружины начинают расправляться и двигают откатные части вперед — происходит накат. При этом цилиндр тормоза вместе с веретеном и контрштоком надвигаются на шток, стоящий неподвижно. Движением жидкости клапан контрштока закрывается, и жидкость не может более протекать через канал контрштока.

Для выхода жидкости, наполняющей канал штока, на наружной поверхности контрштока делают канавку, которая вместе с охватывающей контршток тормозной втулкой образует маленькое отверстие. Канавка делается переменной глубины, а поэтому отверстие по мере наката меняется, чем достигается желаемый закон сопротивления накату.

При накате дно цилиндра тормоза отката, двигаясь вперед, сначала выбирает „пустоту", а затем начинает двигать жидкость. Поэтому вначале тормоз отката сопротивления накату не оказывает. Когда пустота будет выбрана, жидкость, находившаяся в задней части цилиндра тормоза, перетекает прежним путем, но в обратном направлении, т. е. в зазор между веретеном и регулирующим кольцом. Далее, соединяясь с жидкостью, выдавливаемой из штока, через отверстия в поршне, она поступает в переднюю часть цилиндра тормоза отката.

Возможный удар откатных частей при накате по неподвижной части (люльке) смягчается буфером *13* из нескольких резиновых колец.

Пружину накатника делают не цельной, а из шести пружин, завитых в разные стороны.

Для наполнения цилиндра тормоза жидкостью и для выпуска ее в передней части штока имеется отверстие, закрываемое пробкой *14*. Для выпуска воздуха, который может оказаться внутри цилиндра тормоза, вверху передней крышки цилиндра тормоза имеется маленькая пробочка, закрывающая канал, выходящий внутрь цилиндра. Отвинчивая эту пробочку, можно выпустить воздух и убедиться в том, что жидкости достаточно. (Если ее достаточно, то при горизонтальном положении оси канала ствола жидкость должна показаться после отвинчивания пробочки.) Пробочку следует отвинчивать и при наливании в тормоз жидкости в целях выпуска вытесняемого ею воздуха.

11. Противооткатные устройства с воздушным накатником

Противооткатные устройства с воздушным накатником получили большое распространение во Франции. В настоящее время они применяются всюду и гораздо чаще, чем накатники пружинные. В качестве примера приводим описание противооткатных устройств системы Шнейдера.

В орудиях этой системы ствол *1* соединяется с особой частью, именуемой салазками, *3*. На рис. 278 показаны крюк *20* ствола, захватывающий за выступ *16* салазок, поясок *17* на стволе, входящий в паз салазок, и засов салазок, входящий в паз бороды *19*. Эти детали вполне надежно соединяют ствол с салазками, которые своими захватами скользят по направляющим люльки *2*, имеющей форму корыта. В салазках просверлено несколько цилиндрических каналов, из которых один *4* — цилиндр тормоза, а все остальные входят в систему накатника.

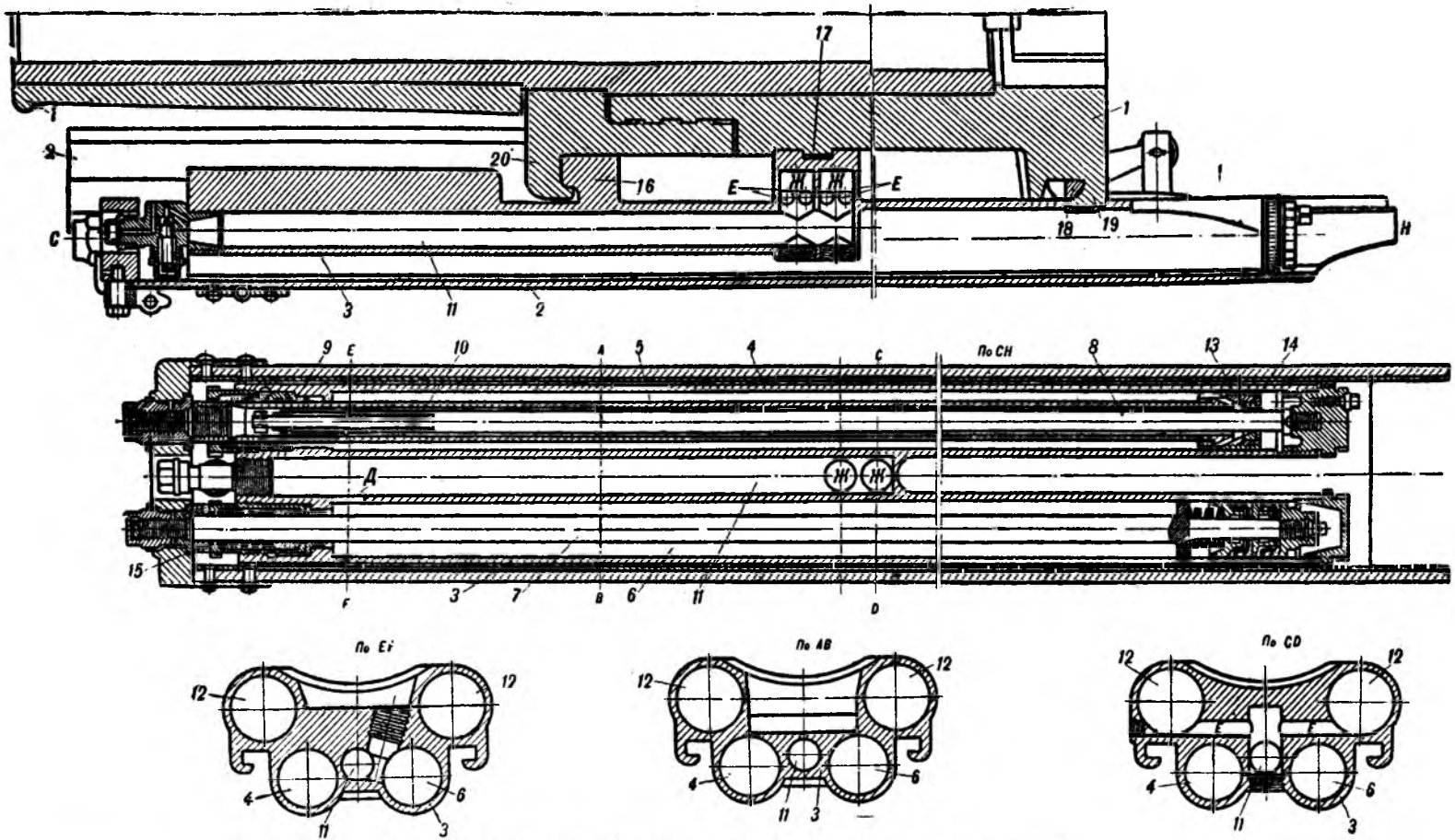


Рис. 278. Противооткатные устройства с воздушным накатником:

1 — ствол; *2* — люлька; *3* — салазки; *4* — цилиндр тормоза; *5* — шток тормоза; *6* — цилиндр накатника; *7* — шток накатника; *8* — веретено; *9* — клапан; *10* — наконечник; *11* — промежуточный цилиндр; *12* — воздушные резервуары; *13* — поршень; *14* — регулирующее кольцо; *15* — буфер; *16* — выступ салазок; *17* — выступ на стволе; *18* — засов; *19* — борода; *20* — крюк

При выстреле ствол с салазками откатывается, а штоки тормоза отката *5* и накатника *7*, закрепленные в передней стенке люльки, остаются на месте. Переднее дно цилиндра тормоза давит на жидкость, и она через каналы в поршне *13* проходит в отверстие между регулирующим кольцом *14* и веретеном *8*, оказывая сопротивление откату. Часть жидкости проходит внутрь штока через отверстие в наконечнике *10* и отодвигает клапан *9* вперед. При смещении клапана открывается доступ для жидкости внутрь полости штока, и жидкость наполняет канал штока, освобождаемый веретеном, уходящим назад вместе с салазками. При этом движении жидкости также создается сопротивление откату.

В накатнике во время отката происходит следующее: передняя стенка цилиндра накатника *6* давит на жидкость, и она устремляется к поршню, удерживаемому штоком *7* неподвижно. Поршень, состоящий из двух кожаных воротников с промежуточными бронзовыми шайбами и пружиной, непроницаем для жидкости. Поэтому жидкость выходит через отверстие *Д* в промежуточный цилиндр *11*, а из последнего, через каналы *Ж* и *Е*, в воздушные резервуары *12*, где и сжимает воздух. К концу отката воздух сильно сжат. Накатник также создает сопротивление откату.

Когда откат закончен, воздух, разжимаясь, выдавливает жидкость из воздушных резервуаров. Последняя давит на поршень в накатнике и на переднюю стенку цилиндра накатника. Так как поршень неподвижен, то цилиндр, а значит, и салазки со стволом двигаются вперед. Вместе с салазками двигается и цилиндр тормоза с веретеном. Клапан на веретене под давлением жидкости прижимается к торцу наконечника и закрывает проход жидкости, находящейся в канале штока. Для прохода жидкости из передней части канала штока в заднюю в стенках штока имеется одна или несколько канавок переменной глубины. Продавливание жидкости через очень небольшое отверстие, образуемое канавкой и поверхностью наконечника, и тормозит накат.

Кожаный буфер *15* смягчает возможный удар салазок о переднюю стенку люльки.

Жидкость в накатник наливается в таком количестве, чтобы соединительные каналы *Е* и *Ж* при всех углах возвышения были перекрыты жидкостью.

Есть накатники, у которых жидкость применяется только для образования гидравлического затвора, без функции передачи давления воздуха поршню.

При откате между поршнем накатника и задним дном цилиндра накатника получается разреженное пространство. Поступающий в него воздух при накате сжимается и оказывает сопротивление накату, что может послужить причиной недокатов. Чтобы предупредить недокаты, в системах Шнейдера в дне цилиндра накатника делается небольшое отверстие, через которое воздух свободно засасывается при откате и выталкивается при накате.

12. Противооткатные устройства клапанного (золотникового) типа

Цилиндр тормоза отката соединяется с люлькой так, что при откате он остается на месте, но может поворачиваться в люльке при изменении углов возвышения для получения переменной длины отката.

На рис. 279 представлен продольный разрез тормоза отката. Шток *2* с составляющим с ним как бы одно целое поршнем *3* соединен со стволом и при выстреле откатывается. Поршень состоит из нескольких частей разных диаметров: а) передней, плотно прилегающей к стенкам цилиндра *1* тормоза, на которой имеются четыре паза *6* и *7*; б) шейки малого диаметра с одним сквозным отверстием *8* и в) задней части, в которой укрепляется регулятор *4* так, что он может поворачиваться относительно поршня. На регуляторе имеются выступы, входящие в винтовые пазы на регулирующем стержне *5*; следовательно, они при откате поворачивают регу-

лятор, а его крылья перекрывают пазы, простроганные в поршне. Благодаря этому площадь отверстий, образуемых этими пазами и внутренней поверхностью цилиндра тормоза, изменяется. Под отверстием *8* поршня приходится отверстие *9* в регуляторе, расположенном так, что оно своим краем касается края отверстия *8*. При откате вследствие вращения регулятора его отверстие *9* будет все более и более подходить под отверстие *8*, более и более открываться и в конце концов может с ним совпасть. Таким образом, через это открывающееся отверстие *9* жидкость свободно поступает внутрь штока и заполняет объем внутри него, освобождаемый регулирующим стержнем.

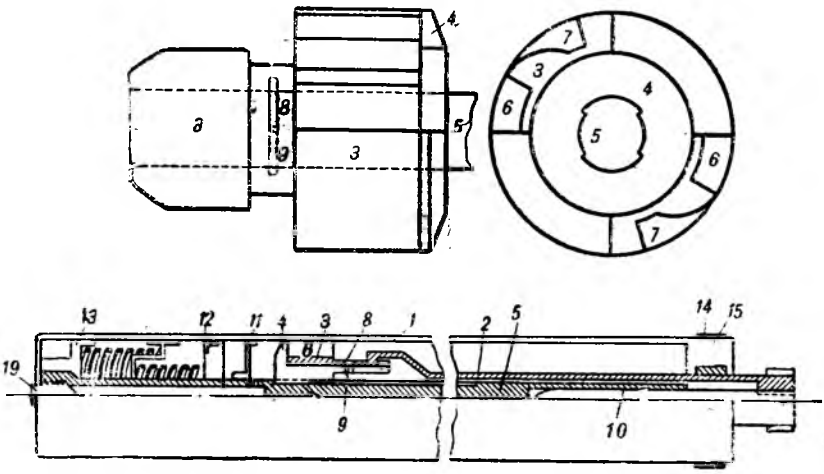


Рис. 279. Тормоз отката клапанного (золотникового) типа:

1 — цилиндр тормоза; *2* — шток; *3* — поршень; *4* — регулятор (золотник); *5* — регулирующий стержень; *6* и *7* — пазы на поршне; *8* — отверстие в шейке поршня; *9* — отверстие в регуляторе; *10* — игла; *11* — перегородка (диафрагма); *12* — поршень компенсатора; *13* — крышка цилиндра тормоза; *14* — бугель; *15* — шпонка; *19* — пробка

При накате жидкость из передней части цилиндра тормоза пробрызгивается в заднюю его часть через все увеличивающиеся отверстия поршня и оказывает малое сопротивление накату. Та же жидкость, которая наполнила шток, продавливается через постепенно перекрывающиеся и уменьшающиеся отверстия *9* и сильно тормозит накат. Для более энергичного торможения в конце наката в дне штока укреплена игла *10*, входящая почти без зазора в канал регулирующего стержня. Жидкость из этого канала выдавливается иглой *10* через весьма небольшие отверстия, получающиеся между иглой и каналом стержня вследствие того, что на игле сняты небольшие лыски.

В рассматриваемой системе имеется компенсатор следующего устройства.

На регулирующем стержне неподвижно закреплена перегородка (диафрагма) *11*, плотно прилегающая своей поверхностью к поверхности канала цилиндра. В перегородке имеется отверстие весьма малого диаметра. Впереди перегородки в цилиндре тормоза помещен поршень *12*, непроницаемый для жидкости. Далее впереди поршня расположены пружины, разделенные шайбой. Пружины сжаты между поршнем и крышкой *13* цилиндра тормоза.

При наполненном жидкостью цилиндре жидкость через отверстие в перегородке заполняет пространство между перегородкой и поршнем *12*. При расширении избыток жидкости продавливается через отверстие в перегородке и продвигает поршень *12* вперед, сжимая пружины. После охлаждения жидкости пружины выдавливают жидкость из указанного пространства в цилиндр тормоза. Отверстие (или отверстия) в перегородке делается небольших размеров, для того чтобы жидкость при большом

давлении поступала из одного объема в другой медленно, иначе при каждом откате и накате жидкость из пространства между перегородкой и поршнем будет поступать в цилиндр тормоза и обратно, а поршень *12* будет все время двигаться, чем нарушится его непроницаемость.

Тормоз отката наполняется жидкостью через канал в передней части регулирующего стержня, который закрывается пробкой *19*. Этот канал в заднем конце сообщается поперечным каналом с полостью цилиндра тормоза.

В системах тормозов золотникового типа легко можно осуществить переменную длину отката, что необходимо для предупреждения удара казны об основание. В описываемых противооткатных приспособлениях механизм для получения переменной длины отката устроен следующим образом (рис 280). На задний конец цилиндра тормоза надет бугель *14*, в паз которого входит шпонка *15* цилиндра тормоза. Вследствие этого бугель не может вращаться на цилиндре тормоза, и наоборот, поворот бугеля будет вызывать поворот цилиндра тормоза. Бугель имеет проходящий через окно в люльке отросток *16*, который своим концом входит в кулису *17* на левой станине станка. При работе подъемного механизма люлька качается на цапфах *18*, и центр дна цилиндра тормоза описывает дугу круга с центром на оси цапф. Конец же отростка бугеля не имеет возможности двигаться по дуге круга с центром на оси цапф, так как этому препятствуют грани кулисы. Конец отростка при изменении углов возвышения двигается по кулисе и составляет со своим предыдущим положением некоторый угол. На такой же угол поворачиваются цилиндр тормоза и связанные с последним регулирующий стержень и регулятор. Благодаря этому отверстия пазов в поршне перекрываются, а проход жидкости через эти пазы при увеличении углов возвышения все более и более затрудняется, а при уменьшении углов возвышения, напротив, облегчается.

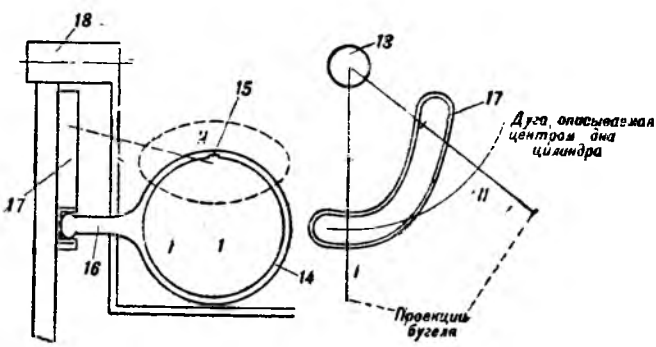


Рис. 280. Механизм для получения отката переменной длины:

14 — бугель; *15* — шпонка; *16* — отросток (рычаг); *17* — кулиса; *18* — цапфа люльки

Воздушный накатник расположен сверху ствола. Он состоит (рис. 281) из двух цилиндров, причем цилиндр *2* малого диаметра помещается эксцентрично внутри цилиндра *1* большего диаметра — его ось значительно ниже оси цилиндра большего диаметра. Во внутреннем цилиндре *2* помещается поршень *3*, непроницаемый для жидкости. Шток *4* этого поршня соединяется с бородой *14* ствола и, значит, входит в состав откатных частей. Дно наружного цилиндра представляет собой сложную часть, в которой крепятся задняя часть малого цилиндра, сальник *5*, клапан *6*, кран *7*, и в ней же имеются отверстия для сообщения полостей обоих цилиндров. Внутренний цилиндр заполняется жидкостью, которая заполняет и нижнюю часть наружного цилиндра.

При откате шток двигается назад и давит при помощи поршня на жидкость. Последняя отжимает назад клапан *6* и через отверстия *8* в коробке поступает в наружный цилиндр.

В наружном цилиндре над жидкостью находится азот (или воздух), предварительно поджатый до 48—50 *ат*. Поступающая при откате в наружный цилиндр жидкость сжимает азот, чем в некоторой степени тормозит откат и накапливает энергию для накатывания откатных частей.

Когда откат закончен, жидкость давлением сжатого азота выталкивается из наружного цилиндра. Давлением жидкости и пружины клапан

прижимается к своему седлу, и жидкость не может пройти во внутренний цилиндр прежним путем, через большие отверстия в коробке. Для ее перетекания имеется другой путь: забирная трубка *9*, объем под краном *7* и канал *10* небольшого диаметра в коробке впереди клапана. При таком положении может показаться с первого взгляда, что накат невозможен, так как давлением жидкости клапан будет отодвинут назад. На самом деле это не так. Как известно, в жидкости давление устанавливается одинаковое, но сзади клапана оно распределяется на большой поверхности клапана, а спереди — на гораздо меньшей, и следовательно, сила давления жидкости на клапан сзади больше, а спереди меньше, и клапан прижимается к седлу.

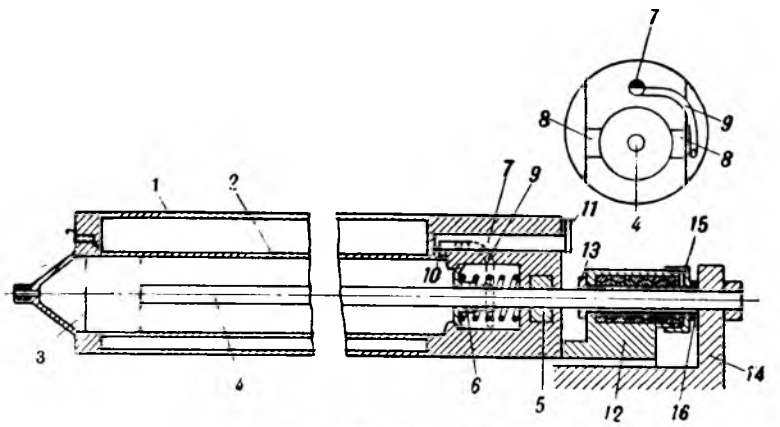


Рис. 281. Накатник:

1 — наружный цилиндр; *2* — внутренний цилиндр; *3* — поршень; *4* — шток; *5* — сальник; *6* — клапан; *7* — кран; *8* — отверстие в дне цилиндров; *9* — трубка; *10* — канал; *11* — рычаг крана; *12* — обойма люльки; *13* — муфта; *14* — борода; *15* — гайка; *16* — кожаный буфер

При больших углах возвышения накатник, помимо сил трения на направляющих люльки, должен преодолевать и слагающую веса в направлении отката, которая достигает большой величины, на что и рассчитывается предварительное поджатие азота в накатнике. При стрельбе под малыми углами возвышения эта слагающая веса невелика, почему накатник очень энергично набрасывает откатные части вперед. Для устранения этого в накатнике имеется выходящий наружу кран *7*, который можно поворачивать за рычаг *11*, и он будет более или менее перекрывать устье забирной трубки. Таким образом, можно по мере надобности регулировать свободу перетекания жидкости, т. е. увеличивать или уменьшать сопротивление накату.

Возможный удар накатных частей при накате, как и во всех артиллерийских системах, смягчается буфером.

Помимо обычно применяемого буфера в виде кожаных или резиновых колец, иногда вводят еще особый пружинный буфер оригинального устройства. Сквозь обойму *12* люльки, через которую проходит шток *4* накатника, предварительно пропускают муфту *13*. На нее надеты кольца треугольного сечения, обращенные вершинами в разные стороны. Позади колец на муфту навинчена гайка *15* с кожаным буфером *16*. При накате борода ствола, с которой соединяется шток, ударяет по кожаному кольцу гайки и тем самым заставляет муфту продвинуться вперед, что вызывает сжимание колец между дном (галтелью) обоймы *12* и гайкой *15*. Вследствие особой формы колец наружные кольца при этом сжимают внутренние, а те в свою очередь расширяют наружные кольца. На это деформирование колец израсходуется энергия наката, и система не получает сильных сотрясений.

На службе вследствие истирания рубашки поршня или каких-либо других причин могут получаться ненормально большие откаты. В этой системе длина отката может быть приведена к норме поворачиванием штока тормоза отката. При поворачивании штока повернется на тот же угол связанный с ним поршень, а регулятор отката останется на месте. В связи с этим площадь отверстий для протекания жидкости уменьшится, а следовательно, откат укоротится. Поворачивая шток в обратную сторону, можно увеличить площадь отверстий и, следовательно, увеличить длину отката, если он окажется почему-либо ненормально коротким. Для поворачивания штока на муфте, соединяющей шток с бородой ствола, имеется винтовое колесо, сцепляющееся с червяком.

После регулировки отката поворотом штока на соединительной муфте и дне цилиндра тормоза ставят риски, которые при сборке должны совпадать.

13. Общие требования к поворотным и подъемным механизмам

К поворотным и подъемным механизмам предъявляют следующие общие требования:

1. Соразмерное усилие на рукоятях или маховиках, чтобы работа на них не требовала раскачивания туловища (для сохранения глаза наводчика на линии визирования).

Для приведения в движение поворотной или качающейся части требуется усилие, большее того, которое необходимо для поддержания движения, так как вначале, помимо преодоления сопротивлений трения, приходится преодолевать инерцию частей, приводимых в движение. Это первое усилие — *усилие разгона* — обычно бывает непродолжительным, а потому допускают его величину значительно большей — до 5 — 7 *кг*. Когда же движение установилось, усилие должно быть значительно меньше — 1,5 — 3 *кг*. Делать усилия на рукояти очень малыми невыгодно, так как в этом случае можно ожидать поворотов рукояти от незначительных случайных усилий.

2. Удобство работы одновременно обоими механизмами наводки.

3. Отсутствие мертвых ходов. Наличие мертвых ходов приводит к излишней работе и потере времени для их выборки и к возможности сбивания наводки в пределах мертвого хода.

4. Плавность работы. Усилие на маховиках должно быть постоянным, так как в случае его неравномерности следить за подвижной целью невозможно.

5. Достаточная для боевого применения данного вида орудия *скорость наводки*, под которой понимают угловое изменение направления оси канала ствола (в горизонтальной проекции — для поворотного механизма или в вертикальной проекции — для подъемного), отвечающее одному обороту маховика, или (что правильнее) изменение направления оси канала в секунду.

Скорость изменения направления оси канала зависит от случайных причин: от изменения трения, исправности механизма, искусства действующего номера, поэтому она не может быть действительной характеристикой. Угол поворота на один оборот рукояти определяется конструкцией механизма и может быть определен точно.

Для приведения в действие механизмов наводки механическими или электрическими двигателями, не позволяющими изменять скорости движения в любой постепенности, а лишь ступенями, включают в передачу так называемый универсальный регулятор скорости, или муфту Дженни. Этот весьма компактный прибор позволяет изменять скорости в какой угодно последовательности и постепенности.

6. Желательно, чтобы один поворот маховика давал определенное изменение угла возвышения, удобное для производства подсчетов, например 0-05, 0-10, 0-20 и т. п.

14. Поворотные механизмы

Применяющиеся в колесных системах поворотные механизмы могут быть сведены к следующим типам (по принципу их действия):

а) поворот станка вокруг хобота путем передвижения лобовой части по боевой оси;

б) поворот верхнего станка по нижнему (называемый также поворотным механизмом вертлюжного типа);

в) поворот станка вокруг середины боевой оси путем перемещения хобота (колеса при этом устанавливаются на особой платформе);

г) перекатывание колес около точки опоры хобота, для чего концы боевой оси делаются поворотными;

д) смещение лобовой части лафета относительно хобота.

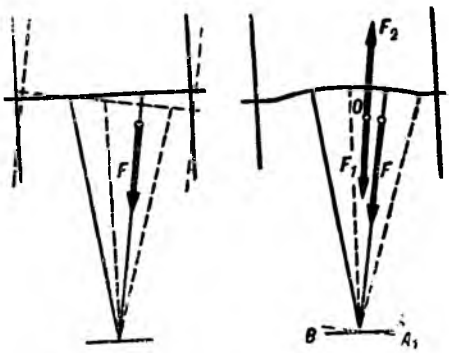


Рис. 282. Схема поворотного механизма с передвижением станка по боевой оси

Первый тип поворотного механизма в новейших системах применяется сравнительно редко, так как при его помощи удается получать небольшие углы поворота (до 10°). Кроме того, в случае если система имеет прямую боевую ось, как это почти всегда бывает при работе поворотным механизмом, колеса должны перекатываться, а хобот — выворачиваться, что при значительном погружении колес и хобота в грунт представляет большие трудности. Но при поворотном механизме такого типа отдача действует всегда в плоскости симметрии станка (рис. 282), а потому ожидать больших сбиваний его в сторону при выстреле нет основания. Однако некоторое сбивание все-таки возможно, так как при смещении станка в одну сторону получается несимметричное расположение колес относительно плоскости симметрии системы.

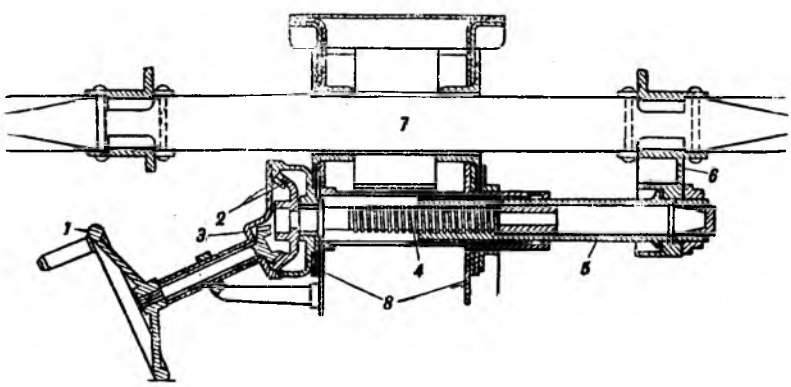


Рис. 283. Поворотный механизм 76-*мм* пушки обр. 1902 г.:

1 — маховик; *2* — шестерни; *3* — валик с конической шестерней; *4* — ходовой винт; *5* — матка; *6* — кронштейн; *7* — боевая ось; *8* — станина

Для устранения этих недостатков ось изгибают по дуге с центром в середине сошника. Если и в этом случае сошник прикрепить жестко к хоботу, то при поворачивании лафета и при жестком упоре сошника будет происходить перекатывание системы вперед, так как фактически вращение при неподатливом грунте будет совершаться вокруг крайней точки сошника A — при поворотах направо и B — при поворотах налево (рис. 282).

Для перемещения станка по боевой оси применяются обычно механизмы следующих двух видов.

1. На оси укрепляется матка, а в станке — ходовой винт. Винт может вращаться в подшипниках в станинах, но не может перемещаться продольно. Ход, а следовательно, и матка стоят на месте, поэтому при работе винтом станок передвигается в ту или другую сторону.

В качестве примера приведем описание поворотного механизма 76-*мм* пушки обр. 1902 г. (рис. 283).

При вращении маховика *1* вращаются шестерни *3* и *2*. Последняя вращает винт *4*, ввинченный в матку *5*, которая укреплена в кронштейне *6* на боевой оси *7*. Винт *4* укреплен в левой станине *8* станка так, что он может только вращаться, но не может перемещаться продольно. Так как ход стоит на основании и, следовательно, ось перемещаться вдоль

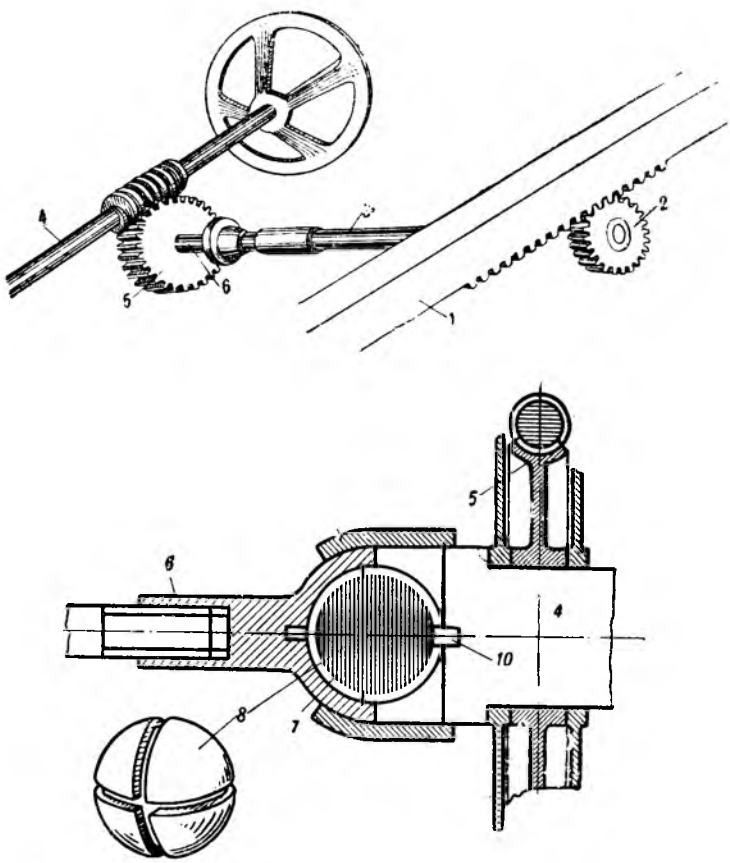


Рис. 284. Поворотный механизм 76-*мм* полковой пушки обр. 1927 г.:

1 — ось; *2* — коническая шестерня; *3* — валик продольный; *4* — валик червячного колеса; *5* — червячное колесо; *6* — наконечник; *7* — дуговая шпонка; *8* — шарик; *9* — чашечка валика; *10* — шпонка

самой себя не может, то и матка *5* стоит на месте. Поэтому винт, ввинчиваясь в матку или вывинчиваясь из нее, перемещает станок по оси, вращая его около неподвижного сошника. Ось при этом лишь слегка поворачивается, сохраняя направление, перпендикулярное к плоскости симметрии станка.

2. На оси делается рейка, с которой сцепляется зубчатое колесо, сидящее на валу, неподвижно закрепленном в станке. В случае изгиба боевой оси по дуге удобно применить червячное зацепление.

Поворотный механизм с передвижением станка по изогнутой боевой оси имеется в 76-*мм* полковой пушке обр. 1927 г. (рис. 284). Ось *1*, двутаврового сечения, имеет на нижней поверхности участок конического зубчатого колеса, с зубцами которого сцепляется коническая шестеренка *2*,

посаженная на валик *3*, идущий вдоль станин При вращении валика при помощи привода шестерня перекатывается по зубчатому сектору неподвижной боевой оси и тем самым передвигает по ней станок, поворачивая его около точки опоры сошника. Валик поворотного механизма состоит из нескольких отдельных частей, соединяемых посредством двух шарниров Гукка следующего устройства.

Валик *3* оканчивается шестигранной призмой, на которую надевается наконечник *6* с полушаровой чашечкой. В этой чашечке имеется паз, в который вкладывается дуговая шпонка *7*, входящая также в паз на шарике *8*. Снаружи чашечка (тоже шаровой формы) охватывается другой чашечкой *9*, скрепленной с валиком *4* червячного колеса *5*. В последнюю чашечку вставлена шпонка *10*, которая входит в паз шарика, перпендикулярный первому, и в паз валика *4*. При вращении винтового колеса *5* вращается его валик, который вращает шпонку *10*, а последняя — шарик. Шарик поворачивает шпонку *7*, а шпонка — наконечник. Последний вращает валик *3*. Валик через шарнир аналогичного устройства вращает коническую шестерню, которая перекатывается по зубчатому сектору на боевой оси.

Введение шарниров Гукка имеет следующие выгоды: а) не нужно точно подгонять подшипники валика, чтобы оси их приходились на одной линии, и б) в данной системе коническая шестерня вместе с боевой осью охвачены обоймой и при походном движении вследствие рессорного соединения боевой оси со станком могут перемещаться относительно станка. Если сделать цельный валик, то он при этих перемещениях гнулся бы или размалывал бы подшипники. Наконец, так как расстояние между винтовой и конической шестернями изменяется при передвижении боевой оси относительно станка, то и длина валика должна изменяться, что обеспечивается подвижным наконечником.

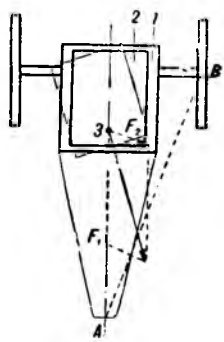


Рис. 285. Поворот верхнего станка по нижнему:

1 — нижний станок;
2 — верхний станок;
3 — штырь

Вторая система поворотных механизмов, т. е. с поворотом верхнего станка *2* по нижнему *1*, изображена на рис. 285.

Станок или вертлюг при помощи какого-либо механизма или, в легких системах, даже вручную может поворачиваться вокруг штыря *3*. На верхнем станке укрепляется качающаяся часть. При выстреле, когда верхний станок повернут на нижнем, силу отдачи (сопротивление откату) можно разложить на две слагающие: F_1 — в плоскости симметрии нижнего станка и F_2 — перпендикулярную линии AB, соединяющей точки опоры — хобот и колесо. Сила F_2 будет стремиться сместить всю систему в сторону и опрокинуть ее, вращая вокруг линии AB.

Возникает вопрос о поперечной устойчивости системы. Очевидно, что чем больше угол поворота, тем больше сила F_2 и тем большее действие она окажет. Вот почему, несмотря на кажущуюся возможность придавать большие углы поворота, в действительности при этой системе поворотных механизмов углы получаются не больше тех, которые дают поворотные механизмы предыдущего вида, т. е. до 8—10°.

Однако эта система поворотных механизмов при применении раздвижных станин (хоботов или лап) дает возможность получить углы горизонтального обстрела до 80°—при двух хоботах и до 360°—при трех или четырех хоботах.

На рис. 286 изображена принципиальная схема лафета с двумя раздвижными станинами. Основная часть лафета — стол, или лобовая коробка *1*, на которой устанавливается и с ней скрепляется верхний станок *2*. К лобовой коробке присоединяются ход (боевая ось *3* и колеса *4*) и шарнирно две станины *5*. Верхний станок может вращаться вокруг боевого штыря *6*.

Отдача в системах с раздвижными станинами получается не в плоскости симметрии, не по биссектрисе угла, составляемого хоботами в гори-

зонтальной проекции. Поэтому усилия на хоботы неодинаковы, и можно ожидать сбивания системы на сторону.

Пока направление отдачи не выйдет за точки опоры хоботов, до тех пор не получится слагающей, опрокидывающей лафет в сторону, и следовательно, допустимый угол обстрела будет γ. При стрельбе по всем направлениям внутри угла γ, кроме стрельбы по направлению биссектрисы этого угла, действие отдачи на хоботы будет неодинаково: F_1 не равно F_2. Следовательно, можно ожидать смещения лафета и изменения углов ϵ, составляемых направлением хоботов с линией, соединяющей их шарниры. Возможна шаткость всей системы. Для устранения этого необходимо устраивать систему так, чтобы в боевом положении шарниры станин становились жесткими. Следовательно, в составе лафетов с раздвижными хоботами, построенными по приведенной схеме, необходимо устройство приспособлений и механизмов, уничтожающих шаткость шарниров, жестко соединяющих в боевом положении станины со столом.

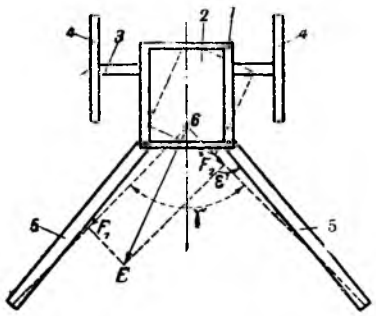


Рис. 286. Схема лафета с раздвижными станинами:

1 — стол; *2* — верхний станок; *3* — боевая ось; *4* — колеса; *5* — станины; *6* — боевой штырь

В колесных системах с двумя раздвижными станинами и в системах с четырьмя станинами получаются четыре точки опоры, а между тем положение плоскости определяется тремя точками. Отсюда следует, что если не принять никаких мер, то такие лафеты в боевом положении будут иметь одну из точек опоры на весу, т. е. будут неустойчивыми. Поэтому нужно эти лафеты устраивать так, чтобы их можно было приспособлять к местности и чтобы их вес распределялся на все четыре точки опоры. Это достигается введением в систему так называемых выравнивающих механизмов, о которых будет сказано ниже.

При поворотных механизмах, когда вращение верхнего станка происходит по нижнему, для его поворота применяют разнообразные приспособления. Для получения большого угла поворота пользуются почти исключительно зубчатой дугой, сцепляющейся либо с шестерней, либо с червяком, причем дугу закрепляют на нижнем станке, а червяк или шестерню — на верхнем, или наоборот. Также применяют способ поворота при помощи винта и матки, причем матка шарнирно укрепляется на нижнем станке, а винт, также шарнирно, — на верхнем, или наоборот.

Положение верхнего станка на нижнем аналогично положению лафета на основании, т. е. он стремится откатываться и подпрыгивать. Поэтому весьма важно обратить внимание на надежное скрепление верхнего станка с нижним, не затрудняя в то же время его вращения по нижнему лафету.

С этой целью, чаще всего на нижнем станке, устраивают направляющие — рельсы, которые охватывают выступы верхнего станка, или наоборот, захваты верхнего станка охватывают рельсы нижнего, чем достигается устранение сдвига верхнего станка назад и его подпрыгивания. Для обеспечения надежного скольжения захватов по рельсам и устранения перекашивания одного станка относительно другого их соединяют осью, называемой французами главной осью. У нас часто ее называют штырем или боевым штырем.

Для уменьшения трения на рельсах укрепляют бронзовые полозья и вводят смазку, роликовые или шариковые подшипники, или упругие подвесы, благодаря которым верхний станок находится навесу и слабо нажимает на опорные поверхности.

На рис. 287 дана схема устройства поворотного механизма с зубчатым сектором. Станок *1* укреплен на столе *2* нижнего станка при

помощи штыря *3*, входящего в гнездо на нижнем станке. Станок поддерживается сильной винтовой пружиной или пружинами Бельвилля. Кроме того, верхний станок опирается на нижний через посредство катков *4*, также поддерживающих станок при помощи пружин Бельвилля. Соскакивание станка со стола нижнего станка предотвращают захваты—передний *5* и задний *6* и гайка на стержне *7*. На нижнем станке закреплен наглухо зубчатый сектор *8*. С этим сектором сцепляется шестеренка *9*, могущая вращаться вокруг оси, укрепленной в верхнем станке. На этой же оси закреплено винтовое колесо, сцепляющееся с червяком *10*. Червяк может быть приведен во вращение при воздействии на маховик *11*; при этом будут вращаться винтовое колесо и шестерня *9*, которая и будет обегать зубчатый сектор и тем самым поворачивать верхний станок вокруг штыря *3*.

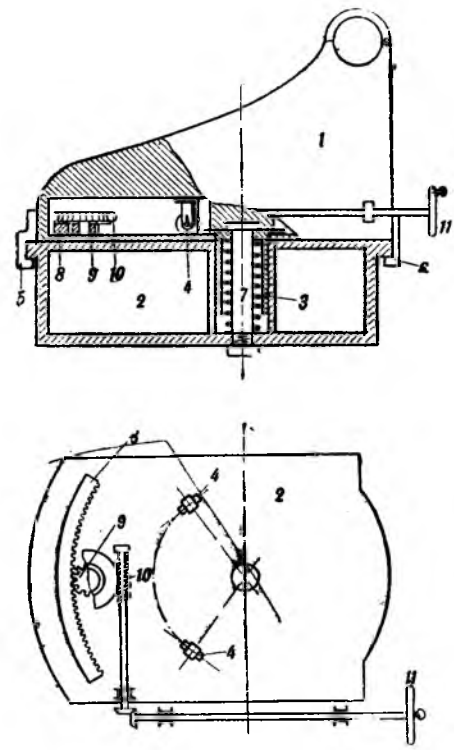


Рис. 287. Схема поворотного механизма с зубчатым сектором:

1 — верхний станок; *2* — стол; *3* — штырь; *4* — катки; *5* и *6* — захваты; *7* — стержень; *8* — зубчатый сектор; *9* — шестерня; *10* — червяк; *11* — маховик

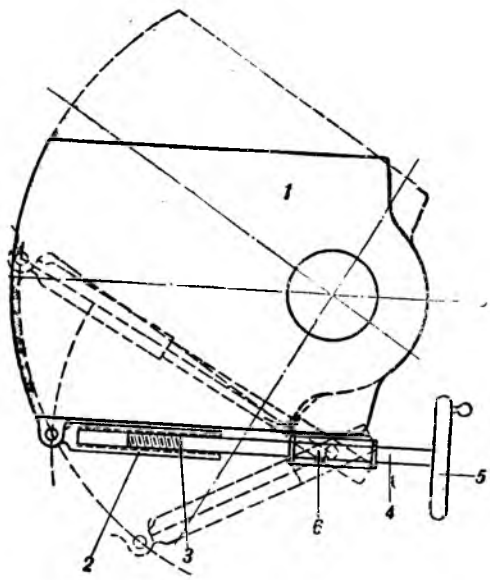


Рис. 288. Схема поворотного механизма с винтом и маткой:

1 — верхний станок; *2* — матка; *3* — винт; *4* — валик; *5* — маховик; *6* — подшипник-муфта

Менее распространенный прием сообщения поворота верхнему станку — при помощи винта с маткой — поясняется рис. 288. К верхнему станку *1* на шарнире прикреплена матка *2*. В матку ввинчен винт *3*, скрепленный с валиком *4*, который можно вращать посредством маховика *5*. Валик проходит сквозь подшипник-муфту *6*, закрепленную на нижнем станке при помощи двух шарниров — вертикального и горизонтального (шарнир Гукка). При вращении маховика винт ввинчивается в матку, либо из нее вывинчивается. Так как матка *2* может только качаться, то расстояние между вертикальным шарниром подшипника и осью шарнира матки будет изменяться. А это возможно при повороте станка, потому что валик в муфте закреплен так, что может в ней только вращаться, но не может двигаться вдоль оси.

В механизмах с зубчатым зацеплением момент сопротивления повороту верхнего станка, если считать силы трения постоянными, остается

неизменным. В механизмах второго вида плечо, на котором передается усилие нижнему станку, изменяется с изменением угла поворота, почему работа такими механизмами недостаточно равномерна. Но самый главный их недостаток заключается в том, что ими нельзя придавать углы поворота, бо́льшие примерно ± 40°, тогда как первыми можно придавать углы 360°. По этим причинам механизмы в виде зубчатого сектора (круга) имеют более широкое распространение.

Прочие виды поворотных механизмов имеют сравнительно небольшое распространение, почему их описания приводить не будем.

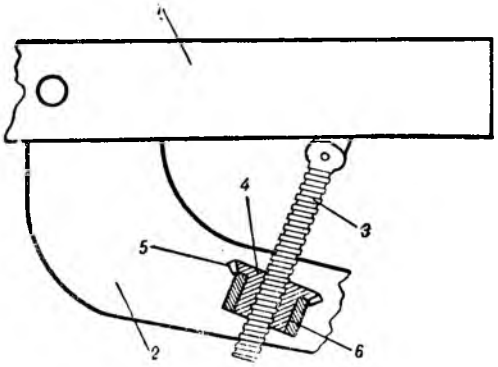


Рис. 289. Подъемный винтовой механизм:

1 — ствол; *2* — станина лафета; *3* — винт; *4* — матка; *5* — зубчатое колесо; *6* — коробка

15. Подъемные механизмы

Для придания орудиям угла возвышения в лафетах устраивают подъемные механизмы двух типов: а) подъемные винты и б) зубчатые секторы, или дуги.

Винтовые подъемные механизмы в схеме представляют собой следующее. Между станинами *2* лафета (рис. 289) шарнирно укрепляют коробку *6* с маткой *4* так, что она может качаться в плоскости симметрии лафета. В матку ввинчивают винт *3*, на головку которого опирается казенная часть ствола *1*, или люлька. Матка, помимо того, что она может вместе с коробкой вращаться вокруг цапф, может также вращаться и вокруг своей оси при помощи привода. При вращении матки винт будет в нее ввинчиваться или вывинчиваться, а следовательно, казенная часть будет опускаться или подниматься.

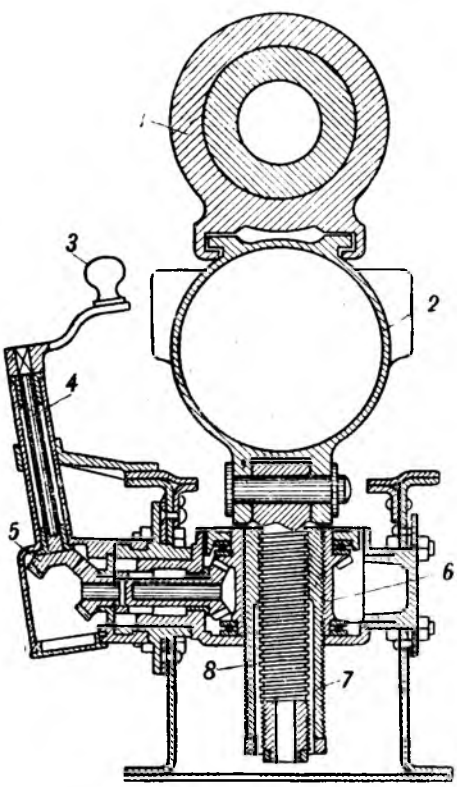


Рис. 290. Подъемный механизм 76-*мм* пушки обр. 1902 г.:

1 — ствол; *2* — люлька; *3* — рукоять; *4* — валик; *5* — коническая шестерня; *6* — матка; *7* — наружный винт; *8* — внутренний винт

Для быстроты работы механизма устраивают привод, который состоит из ряда зубчатых и червячных зацеплений соответственно требующейся скорости наводки и соразмерно усилию на рукояти. Червячную пару делают самотормозящей и располагают по возможности ближе к частям, непосредственно действующим на качающуюся часть. Благодаря этому предупреждаются возможные удары на все передаточные части.

На рис. 290 изображен подъемный механизм 76-*мм* пушки обр. 1902 г. в виде двойного винта с нарезкой обоих винтов в одном направлении.

При вращении рукояти *3* вращаются валик *4* и насаженная на его нижнем конце коническая шестерня *5*. Это вращение через ряд шестеренок передается бронзовой матке *6*, которая может вращаться, опираясь на шарикоподшипник, но перемещаться продольно не может. В матку *6*

ввинчен наружный винт *7*, который служит маткой для внутреннего винта *8*, соединенного своей головкой с ушком люльки.

Если момент трения на наружном винте и матке будет велик, то наружный винт будет вращаться вместе с маткой, а внутренний — вывинчиваться или ввинчиваться в него. Если же момент трения на поверхности внутреннего винта, соприкасающейся с наружным винтом, будет больше первого момента, то наружный винт не будет вращаться, а следовательно, будет либо ввинчиваться в матку, либо из нее вывинчиваться.

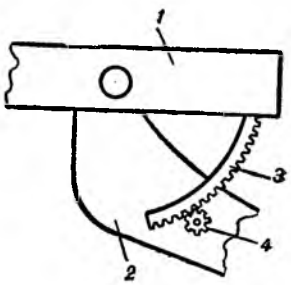


Рис. 291. Секторный подъемный механизм:

1 — люлька; *2* — станины лафета; *3* — зубчатый сектор; *4* — шестерня

Таким образом, какой-нибудь винт будет действовать, и люлька, а стало быть, и ствол орудия будет менять направление.

Коробка подвешена между станинами станка на цапфах и может поворачиваться в соответствии с направлением оси винтов, которое меняется при изменении углов возвышения. Коробка закрыта со всех сторон, что предохраняет механизм от засорения и порчи.

Подъемный механизм в виде зубчатых секторов представляет собой один или два сектора *3* с центром на оси цапф, снабженных зубцами и связанных либо со стволом, либо с люлькой *1* (рис. 291).

Зубцы сектора находятся в сцеплении с зубцами шестеренок *4*, которые насажены на вал, укрепленный горизонтально между станинами *2*. Вращение сообщается валу при помощи привода. При его вращении будут вращаться шестеренки, а стало быть, и секторы, которые уже сообщают качание стволу (или люльке).

16. Цапфенные подвесы

В орудиях большого веса момент трения на цапфах получается довольно большим, что затрудняет работу подъемного механизма, в особенности в случае необходимости быстрого приведения орудия в положение для заряжания. Для уменьшения этого момента применяют роликовые или шариковые подшипники, а также, нередко одновременно с первыми, особые цапфенные подвесы [1]. Последние также служат для уменьшения действия выстрела на цапфы и цапфенные гнезда.

Устройство шариковых и роликовых подшипников общеизвестно; поэтому здесь о них можно не говорить. Что касается подвесов, то они бывают весьма разнообразного устройства. Например, в 280-*мм* гаубице Шнейдера принят подвес, изображенный на рис. 292, широко применяемый в других системах.

Цапфа состоит из двух частей: *1* — большого диаметра (корневой конец) и *2* — меньшего диаметра. Последняя часть охватывается роликo-

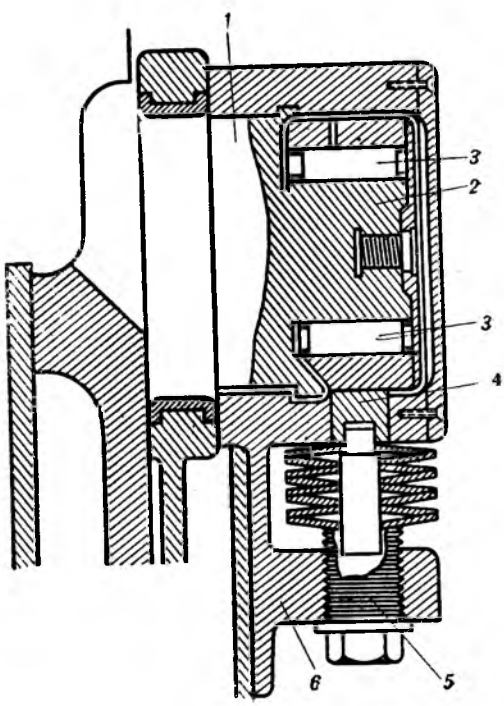


Рис. 292. Цапфенный подвес:

1 — корневой конец цапфы; *2* — выходной конец цапфы; *3* — роликовый подшипник; *4* — вкладыш; *5* — винт; *6* — кронштейн

[1] Их называют также подцапфенниками.

вым подшипником *3*, опорное кольцо которого опирается не на лодыгу цапфенного гнезда, а на особый вкладыш *4*. Последний поддерживается колонкой из пружин Бельвилля, надетой на стержень. Нижняя часть колонки пружин опирается на шайбу, надетую на тот же стержень и лежащую на торце винта *5*. Винт ввинчивается в гнездо особого кронштейна *6* на станке. До выстрела опорное кольцо подшипника не касается лодыги. Равным образом лодыги не касается и корневой участок цапфы, причем расстояние между корневым концом и лодыгой меньше, чем между опорным кольцом подшипника и лодыгой.

При выстреле опорное кольцо, нажимая на вкладыш, сжимает пружины, качающаяся часть опускается, и корневой конец цапфы ложится на лодыгу; таким образом удар на последнюю несколько уменьшается. Опорное же кольцо не опирается на лодыгу, благодаря чему роликовый подшипник предохраняется от сильного нажатия.

Для регулирования поджатия пружин винт может быть слегка ввинчен в кронштейн. В нужном положении винт стопорится защелкой, заскакивающей в гнезда на головке винта.

ГЛАВА IV

ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЛАФЕТОВ

1. Выравнивающие механизмы

Поворотные механизмы вертлюжного типа с поворотом верхнего станка по нижнему применяют все чаще и чаще, так как они дают возможность доводить углы поворота до 30°, 60° и даже до 360°. Но такие большие углы удается получить лишь введением лафетов с раздвижными станинами или платформ.

Введение лафетов с раздвижными станинами вызвало необходимость применения особых выравнивающих механизмов, имеющих, вообще говоря, троякое назначение:

а) дать возможность всем четырем точкам опоры надежно опираться на основание и применяться к местности;

б) придать вертикальное положение оси вращения верхнего станка по нижнему, т. е. ставить штырь вертикально;

в) приблизительно уравнивать усилия при отдаче на оба хобота.

Второе требование чаще всего невозможно удовлетворить механизмом, предназначенным для удовлетворения первого требования; поэтому приходится вводить в систему особый горизонтирующий механизм, ставящий ту часть нижнего станка (стол), в котором укрепляется штырь верхнего станка, горизонтально, а значит, штырь — вертикально, если, конечно, он перпендикулярен к поверхности стола.

Третье требование тоже обычно не выполняется выравнивающим механизмом, так как хоботы в боевом положении скрепляются жестко со столом и его верхняя поверхность становится параллельно линии, соединяющей хоботы.

Выравнивающий механизм, приводящий к трем точкам опоры. В этом механизме боевую ось в боевом положении соединяют с лафетом при помощи продольного болта — штыря, служащего осью вращения для самой боевой оси, в плоскости, перпендикулярной к оси симметрии лафета.

В плоскости симметрии в основной раме, или столе *1* (рис. 293), укрепляют прочную продольную ось — шворень *2*. Стол представляет собой весьма прочную конструкцию, в которой укрепляют все части. Для боевой оси *3* в столе имеется гнездо размером значительно больше оси, особенно в вертикальном направлении. Вследствие этого ось может

свободно качаться около шворня, и оба колеса будут всегда нажимать на грунт, несмотря даже на разность их уровней.

Как видно, положение стола и устанавливаемого на нем верхнего станка со стволом определяется положением хоботов. Следовательно, при наклоне местности, на которой стоят хоботы, получится наклон оси цапф, который будет изменяться с изменением углов поворота.

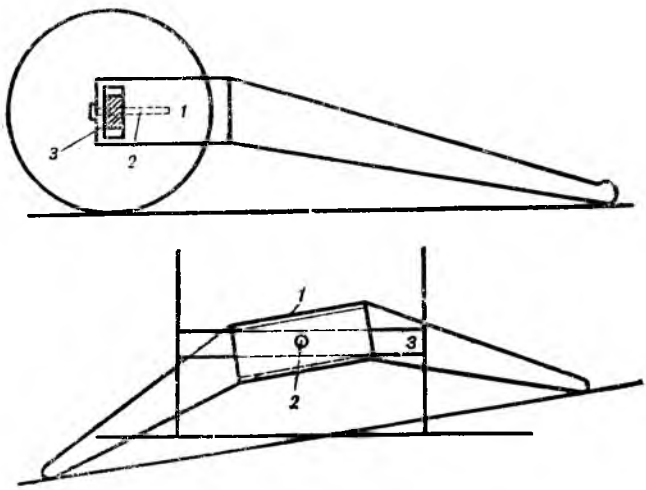


Рис. 293. Выравнивающий механизм:
1 — стол; *2* — шворень; *3* — боевая ось

Этот выравнивающий механизм известен под названием механизма, приводящего к трем точкам опоры: две — два хобота и третья — продольная ось-шворень, опирающаяся на какую-либо опору, например на ось, как здесь описано, но можно ее подпереть домкратом, тумбой и т. п.

При переходе в походное положение ось скрепляют со столом либо жестко, либо с помощью рессоры.

Имеются и другие виды выравнивающих механизмов, у которых каждая станина, независимо от стола, может качаться и в вертикальной плоскости. У механизмов этого вида наклон оси цапф получается примерно вдвое меньше, чем в механизмах, приводящих к трем точкам опоры, но они отличаются большой сложностью и потому находят меньшее применение.

2. Горизонтирующие механизмы

Наклон оси цапф при стрельбе по различным направлениям или при наклонном положении стола лафета будет различен, а учет его, особенно при стрельбе по быстродвижущимся целям, — невозможен. Поэтому в лафетах орудий, назначенных для стрельбы по движущимся целям, вводят горизонтирующие механизмы, с помощью которых стол приводится в горизонтальное положение, а штырь верхнего станка (вертлюга) — в вертикальное. В лафетах, имеющих три и более раздвижных станины (лапы), применение горизонтирующих механизмов также необходимо.

Простейшим горизонтирующим механизмом служат домкраты, устраиваемые по концам лап. Подвинчиванием домкратов не только достигают устойчивого положения лафета (выравнивания), но и подводят пузырьки двух взаимно перпендикулярных уровней, расположенных на столе, на середину, т. е. придают столу горизонтальное положение. Но такое приспособление не всегда представляется возможным, почему устраивают более сложные, но и более удобные горизонтирующие механизмы, как например, по схеме, показанной на рис. 294.

Тумбу *1* укрепляют на основании, снабженном лапами, и на нее подвешивают вертлюг *2* так, что он своей конической осью входит в коническую трубу *3* и в ней может поворачиваться вокруг своей оси при помощи поворотного механизма. Последний состоит из винтового колеса *4*, закрепленного на фланце трубы, и червяка *5*, укрепленного на вертлюге. При вращении червяка посредством привода червяк передвигается по колесу и тем самым поворачивает вертлюг. Труба своими цапфами *6* скрепляется с кольцом *7*. Это кольцо своими цапфами *8*, ось которых перпендикулярна к оси цапф трубы, лежит в цапфенных гнездах тумбы. Благодаря такому подвесу ось вертлюга может качаться во всех направлениях внутри некоторого телесного угла.

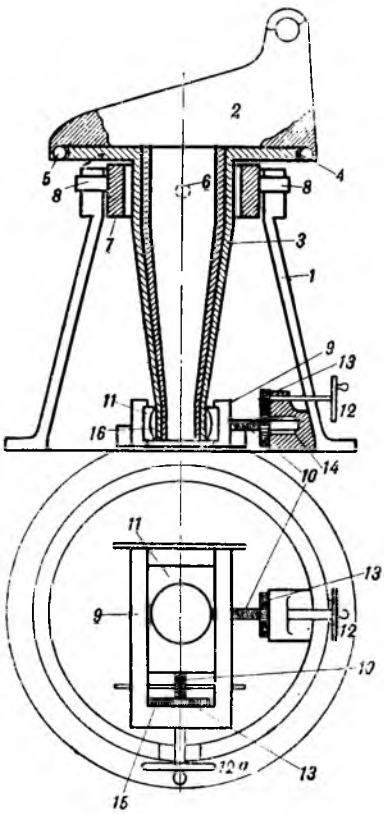


Рис. 294. Горизонтирующий механизм:

1 — тумба; *2* — вертлюг; *3* — коническая труба; *4* — винтовое колесо; *5* — червяк; *6* — цапфы трубы; *7* — кольцо; *8* — цапфа кольца; *9* и *11* — салазки; *10* — винт к салазкам; *12* и *12а* — маховики; *13* — шестерня; *14* и *15* — матки; *16* — шаровой пояс

Для осуществления этого качания в тумбе внизу имеются салазки *9*, которые при помощи винта *10* могут передвигаться по одному из диаметров тумбы. Внутри салазок двигаются по перпендикулярному им направлению другие салазки *11*. Приводы для передвижения салазок устроены одинаково, а именно: вращением маховиков *12* и *12а* вращаются шестеренки *13* и матки *14* и *15*. При этом винты *10* либо ввинчиваются, либо вывинчиваются и тем самым передвигают салазки. Подшипник матки *14* укреплен неподвижно в тумбе, а подшипник матки *15* укреплен на салазках *9*. При движении их салазки *11* вместе со всем приводом для их движения перемещаются параллельно самим себе. Нижний конец трубы *3* снабжен шаровым поясом *16*, который охватывается шаровым поясом салазок *11*, благодаря чему труба может перекашиваться относительно этих салазок без нарушения связи.

Допустим, вращаем маховик *12*; тогда салазки *9* переместятся и переместят салазки *11*. Труба *3* и ось вертлюга будут отклоняться, качаясь на цапфах трубы на некоторый угол в плоскости рисунка. Затем вращаем маховик *12а*. Тогда салазки *11* будут двигаться по какой-то хорде, параллельной диаметру, перпендикулярному к направлению движения салазок *9*; ось трубы и вертлюга будут отклоняться, качаясь на цапфах кольца *7* в плоскости, перпендикулярной плоскости чертежа. Можно, конечно, работать маховиками *12* и *12а* одновременно.

3. Уравновешивающие механизмы

Для предупреждения удара об основание делают, как уже было сказано, длину отката переменной. Часто для этого, а также для обеспечения возможности заряжания при больших углах возвышения, особенно в орудиях небольших калибров, располагают цапфы ближе к казне ствола или даже иногда позади казенного среза. Такое устройство, разрешая поставленные задачи, приводит, однако, к одному весьма неблагоприятному обстоятельству: дульная часть качающейся части орудия получает большой перевес, и работа подъемных механизмов становится весьма трудной. Это обстоятельство тем более неприятно, что момент веса

качающейся части не постоянен, а уменьшается по мере увеличения углов возвышения и, обратно, увеличивается при их уменьшении; поэтому работа подъемного механизма требует неравномерного усилия. Для устранения всех этих недостатков в системах, у которых ось цапф отнесена назад, вводят уравновешивающие механизмы.

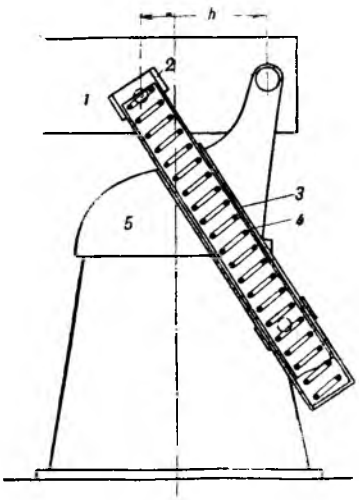


Рис. 295. Уравновешивающий механизм:

1 — люлька; *2* — кольцо; *3* — верхняя труба; *4* — внутренняя труба; *5* — вертлюг

Уравновешивающие механизмы бывают:

а) пружинные и воздушные (пневматические);

б) подталкивающие и подтягивающие.

Пружинные уравновешивающие механизмы чаще всего представляют собой колонну пружин, сильно сжатых при угле возвышения 0° и постепенно разжимающихся при увеличении углов возвышения. Пружины либо непосредственно подпирают качающуюся часть, либо действуют на особые части, передающие это

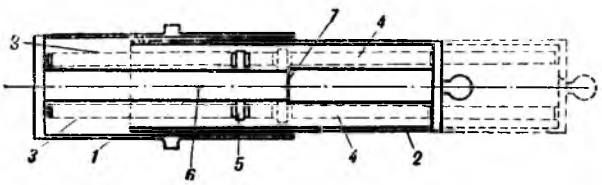


Рис. 296. Уравновешивающий механизм:

1 — наружная труба; *2* — внутренняя труба; *3* и *4* — пружины; *5* — промежуточная шайба; *6* — стержень; *7* — буртик

действие уже качающейся системе. Такое приспособление работает в некоторой степени соответственно с изменением момента веса качающейся части, а именно: когда этот момент велик, пружины сильно сжаты, а когда он уменьшается, пружины разжимаются и действие их уменьшается. Вследствие этого облегчается работа подъемного механизма.

Устройство уравновешивающего механизма подталкивающего типа поясняется на рис. 295. На люльке *1* укреплено на цапфе кольцо *2*, опирающееся на верхнюю трубу *3* уравновешивающего механизма. Труба *4* входит телескопически в трубу *3*, подвешенную на цапфах к вертлюгу *5*. Между донышками труб расположена пружина (или пружины), сильно сжатая при угле возвышения орудия 0°. Благодаря своей упругости пружина, действуя на плечо *h*, уравновешивает момент веса качающейся части. По мере увеличения угла возвышения момент веса убывает, пружины, разжимаясь, теряют свою упругость, и плечо, на котором действует уравновешивающий механизм, тоже меняется. Комбинируя расположение уравновешивающего механизма, его плеча и силы пружин, можно достичь довольно хорошего уравновешивания при всех углах возвышения. Для более полного уравновешивания устраивают колонки пружин, например так, как показано на рис. 296.

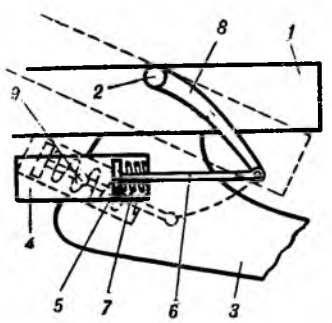


Рис. 297. Подтягивающий уравновешивающий механизм:

1 — люлька; *2* — цапфа; *3* — станок; *4* — коробка; *5* — шайба; *6* — тяга; *7* — пружина; *8* — рычаг; *9* — цапфы коробки

В данном случае весь механизм собран в двух телескопических трубах, из которых первая *1* опирается на станок, а вторая *2* подталкивает качающуюся часть. Между пружинами *3* и *4* расположена шайба *5*. При малых углах пружины сильно сжаты, и в них возникают одинаковые силы упругости. С увеличением углов возвышения шайба *5* двигается

по стержню *6*, закрепленному в трубе *1*, кверху (на рисунке — направо), и когда она дойдет до буртика *7* на стержне *6*, пружина *3* больше не имеет возможности разжиматься; она исключается из действия и служит лишь опорой для пружины *4*. Качающуюся часть подпирает только пружина *4*, в которой напряжения при увеличении углов падают быстрее, чем в обеих пружинах.

На рис. 297 представлен пружинный уравновешивающий механизм подтягивающего типа. К станку на цапфах *9* подвешена коробка *4* с пружиной *7*, которая сжата между дном коробки и шайбой *5* на тяге *6*. Конец тяги соединен с рычагом *8*, закрепленным на цапфе *2* люльки или непосредственно с цапфочками на люльке. Вследствие такого расположения частей пружина тянет рычаг, и этим создается момент, поднимающий дульную часть, т. е. уравновешивающий момент перевеса качающейся части.

Подтягивающие механизмы выгоднее подпирающих в том отношении, что цапфы не приподнимаются ими и лежат плотно в своих гнездах.

Пневматические механизмы применяются редко, почему на их устройстве останавливаться не будем.

4. Механизмы для приведения орудия в положение для заряжания

В системах, у которых ось цапф расположена недалеко от центра тяжести качающейся части, казна при больших углах возвышения опускается слишком низко, и заряжание становится очень затруднительным или даже невозможным. Если лафеты — однохоботовой системы, то заряжание чаще всего невозможно, потому что затвор при открывании упирается в станины лафета [1]. В таких случаях вводятся механизмы для приведения орудия на угол заряжания.

Эти механизмы необходимы, кроме того, в орудиях крупного калибра, так как досылание снаряда при его большом весе, даже при малых углах возвышения, представляет значительные трудности.

Если цапфы расположены сзади, то эти неудобства у орудий небольшого калибра отпадают, и заряжание становится возможным при всех углах возвышения.

Сущность этих механизмов состоит в том, что качающаяся часть орудия снабжается, кроме медленно действующего обычного подъемного механизма, который можно назвать силовым, также механизмом быстродействующим. В этом случае качающуюся часть соединяют с подъемным механизмом посредством приспособлений, допускающих быстрое их сцепление и расцепление.

После расцепления казна поднимается быстродействующим механизмом, а подъемный механизм остается на месте. По окончании заряжания качающуюся часть быстро опускают и сцепляют с силовым подъемным механизмом. При этом орудию придается тот угол, который был установлен, и наводка не нарушается. Чаще всего подъемный механизм устраивают так, что во время заряжания можно выполнять наводку, т. е. работать силовым подъемным механизмом, не мешая заряжанию.

Необходимость в двух механизмах объясняется тем, что быстродействующий механизм рассчитывается лишь на преодоление моментов трения на цапфах и передачах; поэтому он может быть довольно слабым, без червячных передач, или, вообще говоря, с малым коэфициентом полезного действия. Силовой же механизм должен быть рассчитан не только на качание качающейся части, но и на выдерживание тех нагрузок, которые могут получаться при стрельбе. Так, при откате центр тяжести откатных частей отодвигается далеко назад, и получается большой момент веса. Передачи подъемного механизма должны выдерживать момент веса без повреждений.

[1] Клиновые затворы, падающие вертикально, а также поршневые, откидывающиеся при открывании назад, вверх или вниз (системы Арисака), не мешают производить заряжание и при больших углах возвышения, если только окажется достаточно места для вкладывания патрона.

5. Тормозные и другие приспособления в подъемных и поворотных механизмах

Для обеспечения точности работы подъемных и поворотных механизмов применяют приспособления для устранения вредного влияния мертвых ходов, сдачи и износа зубчатых передач и подшипников, а также вредного действия ударов и толчков, которые могут получаться при стрельбе и при перевозке, несмотря на наличие механизмов крепления по-походному.

Для уменьшения действия толчков и ударов, а также для устранения мертвых ходов служат амортизирующие пружины. В качестве примера на рис. 298 показана схема механизма с амортизирующей пружиной. В случае толчка, побуждающего червяк *2* двигаться вправо, вместе с ним вправо двинется удерживаемая на нем буртиком *3* шайба *4* и сожмет пружины *5*, упирающиеся в кольцо *6*, которое в свою очередь упирается в выступ коробки *1*. При обратном толчке червяк потянет за собой кольцо *6*, и пружины будут сжаты между кольцом и шайбой, которая удерживается на месте вторым уступом коробки *1*.

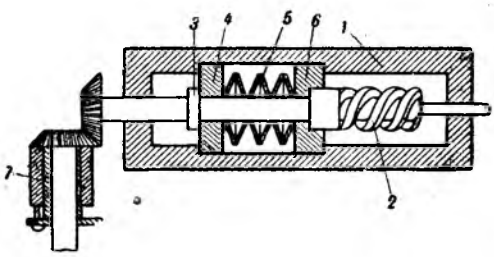


Рис. 298. Амортизатор в подъемных и поворотных механизмах:

1 — коробка; *2* — червяк; *3* — буртик; *4* — шайба; *5* — пружина; *6* — кольцо; *7* — эксцентрический вкладыш

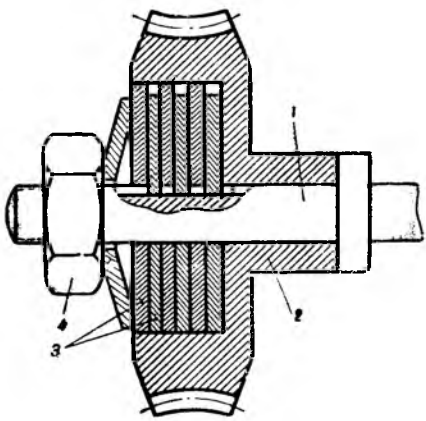


Рис. 299. Муфта трения:

1 — вал; *2* — колесо привода; *3* — диски трения; *4* — нажимная гайка

В случае износа зубцов червяка, колеса или конической передачи можно подложить под буртик *3* кольца, отчего червяк будет оттянут влево.

Для регулирования зубчатых зацеплений по мере их износа полезно делать в подшипниках эксцентрические вкладыши, как например вкладыш *7* на рис. 298. Поворотом вкладыша подшипника можно сближать или удалять оси колес и увеличивать или уменьшать глубину зацепления зубцов одного колеса с зубцами другого.

С этой же целью иногда устраивают оси колес так, что они могут продольно перемещаться и закрепляться в требуемом положении при помощи кольца, нажимающего на торцовую их часть.

В системах, качающаяся (или поворотная) часть которых имеет большой вес или у которых велика скорость наводки, могут получаться значительные толчки при прекращении работы подъемным и поворотным механизмами вследствие большой инерции качающейся (поворотной) части. Для смягчения этих толчков применяют особые тормозные приспособления.

Часто применяют, например, муфты трения следующего устройства (рис. 299). На валу *1* свободно сидит колесо *2*, сцепляющееся своими витками (зубцами) с механизмом привода. Внутри колеса выбрана цилиндрическая коробка с пазом; на конце вала также имеется паз. В эти пазы входят поочередно своими выступами диски трения *3*: один — в паз коробки, другой — в паз вала и т. д. Некоторые диски изготовляются из бронзы, другие — из стали. Затем на вал надевается пружина Бельвилля,

которая поджимается к дискам гайкой *4* с таким натяжением, чтобы момент трения на дисках при работе механизма превосходил сумму моментов трения на всех передачах.

При остановке механизма инерцией качающейся (поворотной) части трение на дисках может быть преодолено, и она может еще некоторое время продолжать вращение, т. е. резкого удара при остановке не произойдет. В дальнейшем небольшим поворотом, при котором качающаяся масса не приобретет большой скорости, систему приводят к требуемому углу.

6. Средства для заряжания

Приемы заряжания. Для заряжания, помимо открывания и закрывания затвора, нужно выполнить следующие действия:

а) поднести снаряд и заряд к орудию;

б) вложить снаряд в канал;

в) дослать его в канал до упора ведущего пояска в упорный конус;

г) дослать заряд.

Само собой разумеется, что у орудий, заряжаемых унитарным патроном, эти действия сводятся только к подноске патронов и досылке их в канал ствола.

Рассмотрим приемы заряжания, применяемые при раздельном заряжании орудий.

К орудиям небольшого калибра боевые припасы подносятся непосредственно и вручную вкладываются в канал, а затем снаряд досылается рукой или с помощью специального деревянного стержня (прибойника) соразмерной длины с утолщением на переднем конце, предназначенным для центрования его.

Подноска снарядов к орудиям большого калибра (152-*мм* и больше) представляет большие затруднения. В этом случае снаряды вкладываются в особые приспособления — кокоры, снабженные ручками и представляющие собой носилки или тележки. Нередко в кокорах переносят и заряды.

Поднесенный к орудию кокор поднимают для заряжания вручную или при помощи кранов. Так или иначе поднятый в положение для заряжания кокор сцепляется со стволом или качающейся частью так, чтобы он во время заряжания прочно сохранял свое положение относительно ствола и чтобы нижняя производящая снаряда приходилась на продолжении нижней производящей зарядной каморы.

В орудиях большого калибра (240 *мм* и больше) или при большой длине каморы досылка снаряда не только затруднительна, но и требует много времени, так как приходится прибойник перехватывать несколько раз руками и к этой работе привлекать несколько человек. Поэтому в орудиях крупного калибра устраиваются особые досылатели.

Досылатели, применяемые в настоящее время, можно свести в две группы: а) досылающие снаряд до места, непрерывно нажимая на дно снаряда, и б) сообщающие снаряду некоторую скорость на небольшом участке пути, а дальше снаряд доходит до места по инерции.

Досылатели первого вида можно приводить в действие вручную или за счет других видов энергии; поэтому они бывают гидравлические, пружинные и пневматические. Досылатели второго вида — почти исключительно пневматические. В частности к досылателям можно отнести досылку снаряда действием силы тяжести, т. е. без всяких приборов. Если придать стволу угол склонения, больший угла трения, то снаряд будет двигаться по каморе и при большой ее длине приобретет достаточную скорость. Для смещения снаряда потребуется лишь первоначальный толчок.

При устройстве досылателей добиваются того, чтобы снаряд не только доходил до места, но и расклинивался в упорном конусе в канале ствола, с тем чтобы предупредить прорыв пороховых газов между пояском снаряда и поверхностью канала и чтобы при больших углах возвышения

он не мог опуститься[1]. Если снаряд опустится, то произойдет уменьшение объема каморы, со всеми вредными последствиями, вытекающими из этого. Расклинивание снаряда получается при некоторой скорости досылки снаряда, зависящей, между прочим, от веса снаряда: чем больше вес снаряда, тем меньшая нужна скорость движения. В общем эта скорость колеблется от 2 до 5 *м/сек*. При разгаре ствола снаряд при малой скорости досылателя может не дойти до упора, что вредно отразится на правильности движения снаряда.

При досылателях первого рода ход прибойника должен быть таким, чтобы снаряд надежно нажимался прибойником в упорный конус при возможных отступлениях в диаметрах поясков и изменении каморы вследствие разгара орудия.

ГЛАВА V

ЛАФЕТ КАК ПОВОЗКА. УСТРОЙСТВО ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ

1. Устройство осей

Оси лафетов, называемые б о е в ы м и о с я м и, в жестких системах подвергаются при выстреле сильным ударам. В лафетах с откатом орудия в направлении оси ствола усилия, передающиеся на боевую ось и колеса при выстреле, значительно меньше. Нередко они бывают даже меньше усилий, которые действуют на эти части при движении орудия, особенно при большой скорости движения. Поэтому в таких системах лафетов необходимо рассчитывать ось и колеса, сообразуясь с последними усилиями, а не с теми, которые действуют на них при выстреле. Надлежащая прочность осей может быть достигнута при увеличении их поперечных размеров, однако это невыгодно, так как оси при этом получаются тяжелыми.

Рис. 300. Боевая ось:
1 — лопасть; *2* — корневые утолщения; *3* — концы

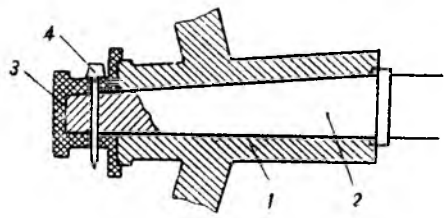


Рис. 301. Закрепление колеса на оси:
1 — ступица; *2* — конец оси; *3* — колпак; *4* — чека

Для уменьшения веса осей при сохранении их прочности подбирают для них сталь высоких механических качеств и, кроме того, делают их трубчатыми, двутавровыми или П-образными. По длине ось может быть подразделена на три части (рис. 300): среднюю *1*, на которую опирается лафет или повозка, называемую лопастью, и два конца *3*, примыкающих к лопасти с обеих сторон. На концы, называемые иногда цапфами, имеющие коническую или (в последнее время) цилиндрическую форму, надевают колеса. Чтобы колеса не сближались вдоль по оси, концы оси отделяют от лопасти корневыми утолщениями *2* цилиндрической формы.

Геометрические оси конических концов оси обычно не идут по продолжению геометрической оси лопасти, а опускаются несколько книзу так, что нижние производящие концов составляют прямую, параллельную геометрической оси лопасти. Такое устройство концов принято для устранения сбегания колеса наружу.

Чтобы удержать колеса на оси, в концах оси, выходящих из ступицы колеса, проделываются сквозные отверстия (рис. 301), в которые вкла-

[1] Этого необходимо добиваться и при заряжании вручную.

дывают чеки. При движении торец ступицы *1* колеса стирался бы чекой *4*, что привело бы к порче колеса и чеки. Для предупреждения этого между чекой и ступицей на ось надевается выходная шайба или на конец оси надевается колпак *3* с отверстиями, которые совпадают с отверстиями оси, и колпак зачековывается. В верхнем конце чеки *4* имеется головка, ограничивающая продвигание чеки в отверстие, а на нижнем ее конце — отверстие, через которое пропускается раздвижное кольцо, предупреждающее потерю чеки.

Все способы и приемы удержания колеса на оси имеют одновременно целью закрывание ступицы для сохранения в ней смазки и предохранения от попадания посторонних тел. Поэтому в настоящее время выходной конец ступицы колеса чаще закрывают колпаком, а колесо закрепляют внутренним концом ступицы, охватывающим корневой выступ на оси. Другие способы закрепления колес на оси будут описаны далее.

Концы оси делаются конической формы, а не цилиндрической, для того чтобы уменьшить средний радиус конца оси и тем самым уменьшить момент трения на втулке; прочность же конца при этом не уменьшается, так как конец оси имеет форму тела равного сопротивления. Кроме того, благодаря этому уменьшается вес оси и облегчается надевание колеса.

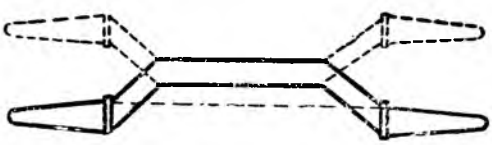


Рис. 302. Коленчатая ось

Кроме перечисленных частей, на осях устраивают иногда детали для крепления щитового прикрытия, поворотного механизма и тормозных приспособлений для торможения колес.

Как известно, для увеличения легкости на ходу полезно увеличивать радиус колес. Но с увеличением радиуса колес повышается расположение центра тяжести повозки и уменьшается ее устойчивость при движении. В лафете же при увеличении радиуса колеса труднее удовлетворить требованию устойчивости орудия при стрельбе. Для уменьшения неудобств, связанных с большой величиной радиуса колес, оси нередко делают коленчатыми (рис. 302).

При малых углах возвышения лафет при стрельбе обычно подпрыгивает. При больших углах возвышения подпрыгивание меньше, причем в этом случае казна опускается низко между станинами и при откате может удариться о землю. Поэтому при больших углах возвышения можно без вреда для устойчивости лафета увеличить его высоту.

Все эти требования удовлетворяют устройством коленчатой оси так, что она может поворачиваться и ее концы могут занимать либо нормальное положение, обозначенное на рис. 302 сплошными линиями, либо (при стрельбе под большими углами) положение, обозначенное пунктирными линиями. Эта мера осуществлена в 76-*мм* горной пушке обр. 1909 г.

В настоящее время оси как цельные стальные балки нередко заменяют прочными выступами для ступиц колес, прикрепленными к станинам или к столу лафета различными способами.

2. Устройство колес

В настоящее время в артиллерии применяют колеса различного устройства: а) деревянные с деревянной или металлической ступицей и с железной или резиновой шиной; б) металлические с металлическими ободом и шиной или с резиновой шиной. Кроме того, применяются гусеничные хода.

Все эти виды колес имеют также весьма разнообразное устройство. Поэтому приведем описание лишь некоторых из них.

Каково бы ни было устройство колес, в них всегда можно различить три части: ступицу, с помощью которой колесо надевается на ось; обод, которым колесо перекатывается по полотну дороги или по местности, и части для соединения ступицы с ободом — спицы, диски.

В ступице находятся части для уменьшения трения, удержания смазки и предохранения внутренности ступицы от загрязнения. Для уменьшения трения на концах осей применяют: а) смазку, б) втулки, неподвижно закрепленные в ступице или свободные, плавающие, и в) роликовые или шариковые подшипники.

Деревянное колесо (рис. 303) состоит из деревянного обода *1*, стянутого железной или стальной шиной *2*, деревянных спиц *3* и стальной, железной или деревянной ступицы *4*.

Деревянный обод составляется из косяков, гнутых либо выпиливаемых из кусков дерева так, чтобы по возможности меньше перерезались волокна дерева. На изготовление обода и спиц идет хорошо высушенное дубовое дерево. Для того чтобы косяки не могли сместиться один относительно другого, в выемки, выделанные на наружной их стороне, вставляются дубовые шпонки *5*, и затем все косяки стягиваются шиной. Обод с шиной скрепляется при помощи болтов. Спицы вставляются в гнезда, выдолбленные в косяках, своими концами, называемыми застригами *6*, либо в гнездо особого железного башмака. Башмак своими краями охватывает косяки с боков, чем также достигается связь косяков между собой (в этом случае шпонки не требуется).

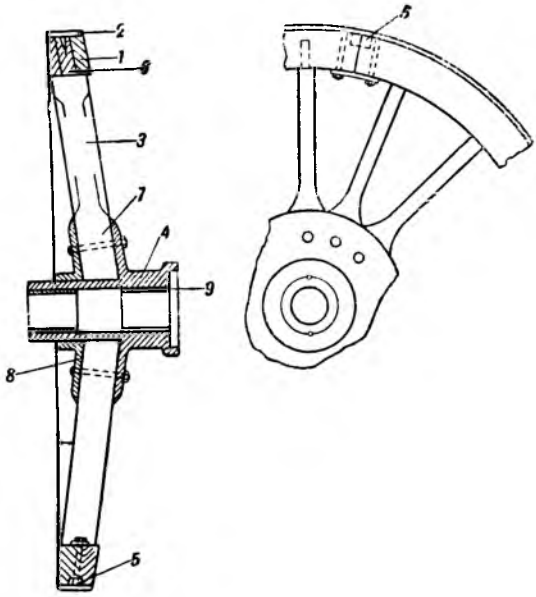


Рис. 303. Деревянное колесо:
1 — обод; *2* — шина; *3* — спица; *4* — ступица; *5* — шпонка; *6* — застрига; *7* — всад; *8* — шайба; *9* — втулка.

Концы спиц, противоположные застригам и называемые всадами *7*, образуют круговой свод, в который вставляется металлическая ступица *4*. На ступицу надевается шайба *8*, которая притягивается болтами к закраине ступицы. Эти болты проходят через всады спиц и таким образом скрепляют их со ступицей.

В ступицу вставляется бронзовая втулка *9* или вкладыши, удерживаемые в ступице винтами. Во втулке сделаны канавки, в которых удерживается коломазь или минеральная мазь, а также собираются посторонние тела (песок, пыль), могущие случайно попасть внутрь втулки[1]. Все это (разнородность металлов втулки и конца оси, смазка, устранение посторонних тел) способствует уменьшению трения на концах осей и, следовательно, большей легкости на ходу, а также уменьшает изнашивание концов оси и втулки.

Применение особых втулок в ступицах имеет значение в отношении долгосрочности службы колес, так как изнашивается лишь втулка, т. е. небольшая часть, которую легко заменить. Без этого изнашивалась бы вся ступица, которую можно было бы заменить лишь с полной разборкой колеса.

С целью достижения большей легкости на ходу принимают также меры для уменьшения трения на торцовых поверхностях ступицы колеса.

Для надежного удержания смазки в ступице ее закрывают с обоих концов. Эту меру предложил для своей 2,5-дм. горной пушки механик Барановский еще в 1872 г.

---

[1] Коломазь представляет собой смесь из 4 частей несоленого говяжьего сала, 4 частей несоленого свиного сала и 1 части графита, которые тщательно смешивают в нагретом состоянии. Для предохранения от порчи в коломазь прибавляют деготь (1 200 *г* на 15 *кг*). Колесная минеральная мазь: 75—80% нефтяных остатков, 12% едкой извести и 10—12% гарпиуса (канифоли).

На рис. 303 изображено деревянное колесо с металлической ступицей, закрываемой лишь с выходного конца колпаком. Такие колеса были широко распространены в артиллерии до войны 1914—1918 гг. и имеются в настоящее время на вооружении. Наряду с ними в нашей артиллерии было широко распространено колесо Охременко, в котором надежность закупоривания втулки значительно выше.

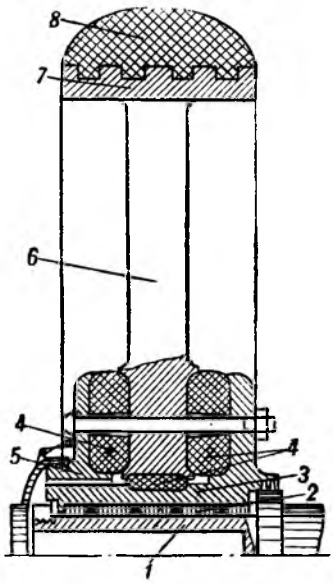


Рис. 304. Колесо тяжелых систем:

1 — конец оси; *2* — плавающая втулка; *3* — ступица; *4* — резиновые кольца; *5* — шайба; *6* — спица; *7* — обод; *8* — грузошина

В последнее время делают втулку свободной (плавающей), не скрепленной со ступицей. Такое устройство выгодно тем, что при движении преодолевается наименьший момент трения на втулке. При увеличении почему-либо момента трения между осью и втулкой втулка будет вращаться внутри ступицы и наоборот.

Резиновые шины могут быть: а) сплошные массивные — грузошины, б) пневматические и в) баллонные, наполненные губчатым каучуком (ГК).

Грузошины тяжелы и довольно жестки. Для большей рессорности грузошин в них делают поперечные каналы. Такие шины очень устойчивы и трудно повреждаются.

Колеса с пневматическими шинами хорошо рессорят и вследствие большой упругости имеют большую поверхность опоры, а значит, небольшое удельное давление на местность (колеса прорезают колеи небольшой глубины). Шины эти, однако, неудобны, так как они легко повреждаются (проколы, пробитие шины).

Баллонные шины, наполненные губчатой резиной (ГК), очень эластичны и в то же время мало подвержены повреждениям.

На поверхности резиновых шин делаются различные по форме выступы для уменьшения скольжения колес в стороны при движении по косогорам. На железных шинах для этой цели иногда укрепляют наклонные планки. Эти планки хотя и удовлетворяют назначению, но они сильно портят дороги.

В металлических колесах для соединения обода со ступицами применяются металлические спицы, чаще всего полые для уменьшения веса, или стальные диски. В тяжелых системах, в которых боковые толчки и, стало быть, выламывающие усилия на спицы велики, ступицы делаются упругими. В ступице между ее фланцем и шайбой прокладываются резиновые кольца *4*, которые смягчают удары (рис. 304).

Спицы в деревянных колесах располагаются не в плоскости обода, а так, чтобы они составляли с ней небольшой угол (5—7°), образуя так называемый н а б р о в. Благодаря наброву колесо получается более упругим, и усилие, выламывающее спицу при движении по наклонной местности (если этот наклон не более угла наброва), будет направлено постоянно в одну и ту же сторону, а именно наружу, а не в разные стороны, как это было бы при спицах, расположенных в плоскости обода. Действие этого усилия легче учесть при расчете колеса. Кроме того, колеса с набровом позволяют уменьшить длину оси, не уменьшая ширины хода.

Для достижения легкости на ходу полезно увеличивать ширину шины. Однако это приводит к увеличению веса колеса, который и без того велик. Например, вес пары деревянных колес 75-*мм* дивизионной пушки при диаметре их 132 *см* и ширине шины 5,7 *см* составляет около 147 *кг*, а у 152-*мм* осадной пушки обр. 1910 г. — 435 *кг* (диаметр — 150 *см* и ширина шины — 15 *см*). Кроме того, увеличение ширины шины за некоторый предел не приносит пользы. Обычно ширина шины подбирается такой, чтобы давление на единицу ее поверхности при грунте средних качеств

не вдавливало ее в грунт. При этом, однако, в случаях движения по более мягкому грунту колесо будет погружаться. В особенности погружение в грунт возможно при стрельбе, когда, помимо давления от веса системы, колеса будут вдавливаться в грунт еще и от вертикальной слагающей отдачи или сопротивления откату (в упругих системах). Для устранения этого колеса некоторых орудий снабжаются особыми башмачными поясами или ободами (рис. 305).

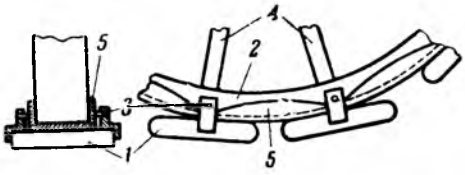


Рис. 305. Башмачный обод:
1 — колодки; *2* — обод; *3* — шарниры; *4* — спицы; *5* — башмаки

Башмачный обод состоит из шинных башмаков *5*, связываемых последовательно при помощи шарниров *3*. К последним пристегиваются деревянные колодки *1*, ширина которых раза в два больше ширины шины. При помощи надетого башмачного обода колесо опирается на грунт, причем площадь опоры увеличивается кроме того, благодаря плоской поверхности колодок.

3. Подрессоривание

С развитием механической тяги значительно возросли скорости передвижения артиллерии. Однако при больших скоростях передвижения артиллерийские системы приходят сравнительно быстро в расстройство: разбалтываются скрепления, ослабевают гайки, сильные толчки и удары вредно отражаются на различных механизмах, особенно на поворотном

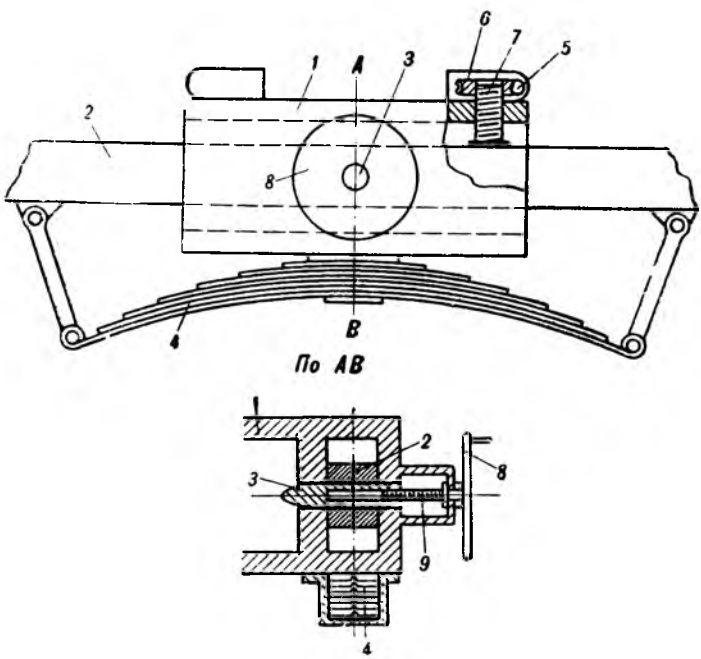


Рис. 306. Подрессоривание лафета:
1 — станок; *2* — боевая ось; *3* — шворень; *4* — рессора; *5*, *6* и *7* — домкраты; *8* — маховик; *9* — винт

и подъемном. Для уменьшения общего разбалтывания системы применяют подрессоривание, а для сохранения подъемного и поворотного механизмов — надежное крепление качающейся и поворачивающейся части „по-походному", т. е. такое закрепление этих частей, которое все толчки и удары при движении воспринимает на себя, разгружая тем самым подъемный и поворотный механизмы.

Подрессоривание обычно сводится к применению рессор и резиновых сплошных или пневматических шин. Оба эти средства, будучи весьма полезными с точки зрения сбережения системы при движении, имеют, однако, следующий существенный недостаток. При стрельбе система подпрыгивает и дрожит, вследствие того что пружины (рессоры) успокаива-

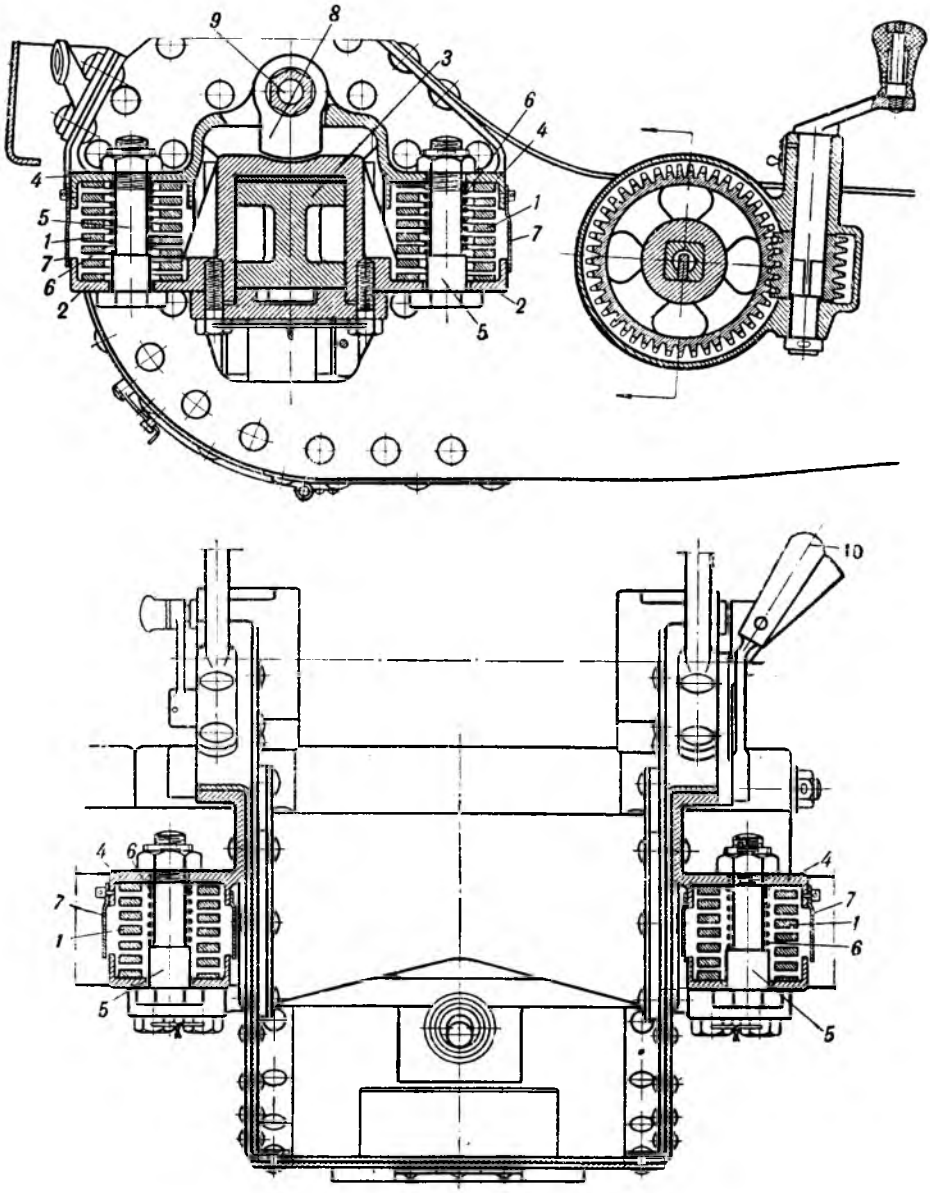


Рис. 307. Подрессоривание лафета 76-*мм* полковой пушки обр. 1927 г.:

1 — винтовые пружины; *2* — кронштейны; *3* — боевая ось; *4* — лодыги; *5* — стяжные болты; *6* — пружины; *7* — кожух; *8* — кривошип; *9* — ось кривошипов; *10* — ручка

ются не сразу, а только после ряда колебаний. Колебания эти из-за несимметричного расположения усилий различны в разных частях рессор, что еще более усложняет дело. Поэтому для того, чтобы система в бою была достаточно жесткой, необходимо устраивать в лафетах подрессоривание так, чтобы его на время стрельбы можно было легко выключать, а на поход — включать.

В качестве примера можно привести схему подрессоривания, применяющегося в системах с выравнивающим механизмом, приводящим к трем точкам опоры (рис. 306). Здесь ось *2* в боевом положении скрепляется шарнирно со столом станка *1* с помощью продольной оси-шворня *3*. Получается гибкое соединение, обеспечивающее нажатие на грунт обоих колес и обоих хоботов даже при установке орудия на неровной площадке. На время похода с помощью домкратов *5*, *6* и *7*, укрепленных в стволе и опирающихся своими пятами на ось, стол приподнимают и шворень вынимают. Рессора *4* средней частью прикрепляется к столу, а концами — к оси. В результате этого стол соединяется с ходом рессорой.

При переходе в боевое положение стол станка *1* с помощью домкратов поднимается до совпадения отверстий для продольной оси-шворня в столе с отверстием для нее в боевой оси. Шворень обычно имеет конический конец, облегчающий его вхождение в эти отверстия даже при неполном их совпадении. Шворень вдвигается с помощью винта *9*, вращаемого посредством маховика *8*, после чего домкраты поднимают, и тогда ось может свободно поворачиваться вокруг шворня.

Подрессоривание лафета 76-*мм* полковой пушки обр. 1927 г. (рис. 307) состоит из четырех винтовых пружин *1*, которые опираются на полки кронштейна *2*, охватывающего боевую ось *3*. Верхние концы пружин (рессор) подпирают полки лодыг *4*, прикрепленных к станку. Между нижней поверхностью лодыг и верхней поверхностью кронштейнов имеется промежуток, в пределах которого станок может качаться на рессорах при движении. Чтобы при сильных толчках станок не мог соскочить с оси, сквозь отверстия в полках лодыг и кронштейнов пропускаются стяжные болты *5*, которые одновременно служат направляющими для рессор. Во время сжатия рессор болты разгружаются и могут перекоситься; поэтому для удержания их в надлежащем направлении на них надевают пружины *6*. Рессоры прикрывают железными кожухами *7*, предохраняющими их от загрязнения.

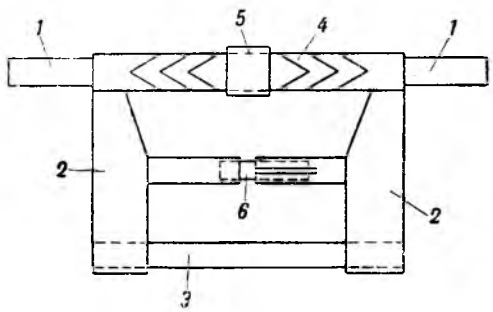


Рис. 308. Подрессоривание каждого колеса отдельно:

1 — концы оси; *2* — половинки рамы; *3* — вал; *4* — рессора; *5* — подвеска; *6* — стержень

Для выключения рессор в боевом положении орудия служат два кривошипа *8* (кулака), сидящих на оси *9*, укрепленной в станке. Ось с кулаками при помощи ручки *10* можно поворачивать. В боевом положении кулаки опираются на верхнюю поверхность кронштейна, — рессоры выключены. Для перехода в походное положение ось *9* за ручку поворачивают, кулаки поднимаются в отверстия в лодыгах. В каждом из этих двух положений ось с кулаками удерживается пружинной защелкой, укрепленной в ручке.

Широкое распространение получает способ подрессоривания каждого колеса в отдельности, так как чем дальше от кузова расположена рессора и чем ниже она опущена, тем спокойнее движение центра тяжести всей повозки.

Схема подрессоривания каждого колеса показана на рис. 308. Концы *1* оси прикреплены к половинам *2* раздельной рамы, которые могут вращаться около вала *3*. Они связаны рессорой *4*. На рессоре имеется подвеска *5* с лебедкой и крюками для соединения в походном положении с лапой лафета, с которой скрепляется и вал *3*. Половины *2* рамы на походе других соединений не имеют. Тяжесть станка со стволом передается целиком на подвеску, а через рессору — на колеса. Половины рамы *2*, вращаясь около вала *3*, позволяют колесам, независимо одно от другого, подниматься или опускаться. Стержень *6* соединяет части рамы *2* в одно целое при переводе системы из походного положения в боевое.

При применении рессор, в особенности мягких, необходимо вводить амортизаторы для успокоения их, иначе при ряде последовательных толчков колебания будут увеличиваться, что может привести к ударам кузова по оси или колесам.

Амортизаторы бывают весьма разнообразного устройства: пружинные, гидравлические, пневматические, использующие силы трения и т. п. Сущность действия амортизатора сводится, как сказано, к тому, что, не мешая действию рессор, они уменьшают колебания, затормаживая их.

4. Крепление „по-походному"

Вопрос о креплении „по-походному" разрешается чрезвычайно разнообразно: при помощи балок, оттяжек и засовов, скрепляющих жестко качающиеся и поворотные части с нижним станком и с ходом (если поворотный механизм устроен с передвижением станка по оси). В креплении, разгружающем поворотный механизм, должно быть предусмотрено также и приведение поворотной части в среднее положение; в противном случае груз будет расположен несимметрично относительно направления тяги, что приведет к крайне неспокойному движению повозки.

Крепление должно быть настолько надежным, чтобы подъемный и поворотный механизмы не испытывали никаких ударов. Следует стремиться к полному выключению этих механизмов в походном положении, т. е. к расцеплению передач и к обеспечению возможности быстрого сцепления при переходе в боевое положение.

Механизмы крепления „по-походному" замедляют переход орудия из походного положения в боевое, почему желательно их так устраивать, чтобы крепление и разъединение совершалось быстро и чтобы по возможности крепились одновременно оба механизма. Если система подрессорена, то желательно, чтобы одновременно происходило и включение или выключение рессор.

В повозках, задний ход которых составляет орудие, боевая ось на походе бывает более сильно нагружена по сравнению с осью переднего хода, что невыгодно с точки зрения легкости на ходу: задние колеса будут сильно погружаться в грунт, и всякие случайные задержки и препятствия в движении заднего хода будут передаваться сильными, резкими толчками на передний ход, который, будучи легким, особенно чувствителен к ним. Все это скажется тем сильнее, чем тяжелее система. Поэтому в системах тяжелых, кроме крепления по-походному, необходимо еще предусмотреть меры для более равномерного распределения груза на оба хода[1], например: 1) оттягивание откатывающихся частей в такое положение, при котором нагрузка обоих ходов будет более равномерной, или 2) снятие части груза (ствола) на особую повозку. Нужно позаботиться о надежном креплении ствола на повозке, так как стволы в этих системах имеют большой вес (3—5 *m*). Первая мера принята в орудиях корпусной артиллерии, вторая — в некоторых орудиях АРГК. Это также приводит к увеличению времени на переход из походного положения в боевое и обратно, почему необходимо ввести в систему особые механизмы, облегчающие и ускоряющие данную работу.

Во многих странах сохранились на вооружении системы времен первой империалистической войны. Эти системы хотя и модернизованы, но обычно их не удается подрессорить; поэтому их нельзя возить в виде

---

[1] Еще Грибоваль указывал, что соотношение нагрузок переднего и заднего ходов должно быть таким:

1 : 2 при малом радиусе передних колес;
2 : 3 при большом радиусе передних колес;
1 : 1 при равном радиусе колес заднего и переднего ходов.

В последнем случае лучше нагружать передний ход на 45%, а задний на 55% полного веса системы в походном положении.

прицепок к грузовикам или тракторам со скоростями, бо́льшими 6—8 *км/час*. Для перевозки этих систем механической тягой с большими скоростями разработаны особые двухколесные подрессоренные легкие тележки, на которые грузится орудие, — так называемые подкатные тележки.

5. Способы соединения ходов

Многие требования к повозкам (поворотливость, гибкость, независимость ходов) главным образом удовлетворяют путем надлежащего способа соединения переднего и заднего ходов. В орудийных системах применяется почти исключительно следующий способ.

В хоботе лафета, представляющего собой задний ход повозки, устраивают шворневое отверстие, или шворневую воронку, а на передке (переднем ходе повозки) — шворень или крюк. Для соединения обоих ходов шворневая воронка надевается на шворень (крюк) передка.

Устройство соединения ходов, в зависимости от веса системы и условий ее маневрирования, может быть разделено на две категории:

а) в легких системах, предназначающихся для быстрых передвижений по любой местности, применяют соединение ходов, допускающее большую гибкость и независимость ходов;

б) в системах тяжелой артиллерии, передвигающихся преимущественно по дорогам и сравнительно медленно, гибкость может быть значительно меньше; кроме того, в этих системах давление хобота на передок вследствие большого веса системы слишком велико, почему, как об этом будет сказано далее, необходимо принять меры для получения так называемого уравновешивания дышла.

ГЛАВА VI

ПЕРЕДКИ И ЗАРЯДНЫЕ ЯЩИКИ

1. Общие указания

Передки и зарядные ящики обычно состоят из основной рамы, составленной из сниц. К этой раме прикрепляются кронштейны, между которыми в особых буксах может двигаться ось с колесами (ход). Рама в передках и зарядных ящиках, принятых в нашей артиллерии, опирается на ось посредством рессор или буферов [1]. На раме укрепляется ящик-короб для боевых припасов. В передней части рамы укрепляются дышловая коробка и вага, либо особые кронштейны с крючьями для вальков, причем дышло и крючья скрепляются с соответствующими частями не жестко, а упруго, для сбережения сил движителя. У заднего хода зарядного ящика вместо дышла укрепляется стрела со шворневым кольцом для соединения заднего хода с передним. Сзади к раме передка прикрепляется шворень (или крюк) для сцепления с задним ходом.

При устройстве передка и зарядного ящика нужно стремиться к тому, чтобы можно было при общем заданном весе повозки возить в них как можно больше боевых припасов. Отношение полезного груза к полному весу повозки называют полезной нагрузкой и принимают за характеристику совершенства конструкции зарядного яшика. В существующих системах полезная нагрузка передка составляет около 35—40%, а заднего хода зарядного ящика — около 40—45%.

В дивизионной, полковой и батальонной артиллерии обычно орудийный передок и передок зарядного ящика имеют одинаковое устройство, чтобы можно было воспользоваться передком зарядного ящика для перевозки орудия.

---

[1] Это подрессоривание введено впервые в полевой артиллерии обр. 1877 г., для которой вся материальная часть, кроме стволов, была разработана А. П. Энгельгардтом, генералом русской службы.

В короба передков и зарядных ящиков укладываются боевые припасы. Распространение имеют две системы укладки, а именно: по несколько патронов в одной общей части (лоток, корзинка) или по одному патрону в особое гнездо (ячеечная укладка). Первая система укладки имеет преимущество в смысле удобства подноски боевых припасов, вторая удобнее в отношении скорейшей подачи патронов к орудию (не нужно раскрывать лотки) и лучшего сбережения патронов от засорения, так как патрон вынимают из своего гнезда лишь перед заряжанием. При укладке в лотки боеприпасы при стрельбе лежат почти совершенно открыто и могут покрываться пылью, песком и т. п. В иностранной артиллерии более широко распространена ячеечная укладка боеприпасов.

2. Передки и зарядные ящики легкой артиллерии

Приведем описание устройства передка и зарядного ящика 76-*мм* дивизионной пушки обр. 1902 г. Основную часть передка, а также и заднего хода зарядного ящика этой пушки составляет рама (рис. 309), склепанная из железных угольников, называемых сницами, *1*. Передний угольник составляет вагу *2*, к которой прикрепляются шайба *11* для дышла и крючки *12* для вальков. Для придания раме большей жесткости по ее оси симметрии с ней скрепляют коробку *3* и поперечный угольник *4*.

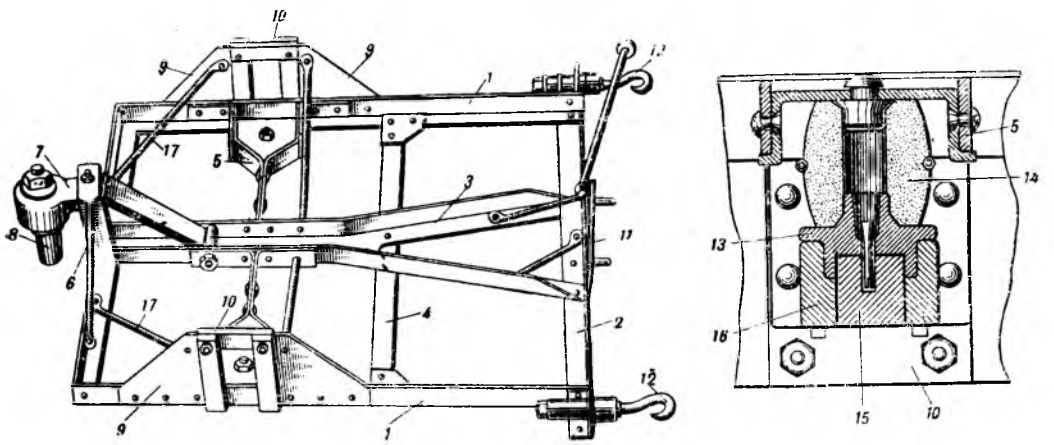


Рис. 309. Рама передка 76-*мм* пушки обр. 1902 г.:

1 — сницы; *2* — вага; *3* — коробка; *4* — поперечный угольник; *5* — буферные вилки; *6* — подвязь лапы; *7* — шворневая лапа; *8* — шворень; *9* — кронштейны; *10* — подвязь оси; *11* — дышловая шайба; *12* — крючки для вальков; *13* — шайба; *14* — буфер-рессора; *15* — ось; *16* — букса; *17* — оттяжки

С боков рамы находятся кронштейны *9*, укрепляемые накладками. Между кронштейнами получается окно, в которое вставляют ось *15* с надетой на ней буксой *16*. Буксы предназначаются для устранения истирания оси. Они изготовляются из литого железа, цементируются по наружной поверхности и закаливаются, с тем чтобы уменьшить их истирание о кронштейны. Буксы входят в пазы на оси и своими закраинами охватывают кронштейны и их накладки, вследствие чего ось не может перемещаться поперек рамы, но может скользить между кронштейнами. Чтобы ось не упала вниз при прыжках, к кронштейнам внизу прикрепляется подвязь *10*.

Между продольными сницами рамы укрепляются буферные вилки *5*. На оси *15* и на вилках *5* укрепляются шайбы *13* со штырями. Между шайбами ставится буфер-рессора *14*, в канал которой входят штыри шайб, чем предупреждается выпадание буфера-рессоры. Буфер стягивается железным обручем, который предохраняет его от разрыва и вместе с тем делает его жестче[1].

[1] В других передках и зарядных ящиках применяются пружинные рессоры.

В коробке *3* с помощью болта прикреплена лапа *7* с находящимся в ней шворнем *8*. Шворневая лапа *7* поддерживается в заднем конце подвязью *6*.

Для придания раме и ее частям большей жесткости и более равномерного распределения усилий на ее части введены оттяжки *17*.

Для сбережения сил лошадей крючки *12* для вальков и дышло прикрепляются к ваге *2* упруго при помощи буферов (рис. 310). К ваге при-

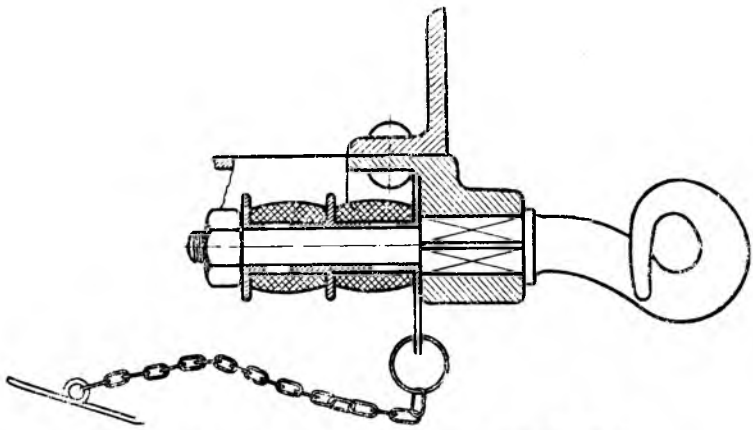


Рис. 310. Прикрепление крючков к ваге

креплена шайба для дышла (на рис. 309 она помечена *11*). К шайбе *1* (рис. 311) спереди прилегает дышловая шайба *2*, а сзади — буфер *3*. Сквозь отверстия в шайбах *1* и *2* и канал буфера пропущен болт *4*, имеющий впереди грибовидную головку, а на заднем конце — винтовую нарезку, на которую навинчивают гайку и контргайку. К торцам буфера прилегают шайбы. К шайбе *2* прикреплена квадратного сечения труба *5*, в которую вставляют корневой конец дышла *6* и скрепляют с ней засовом *7*.

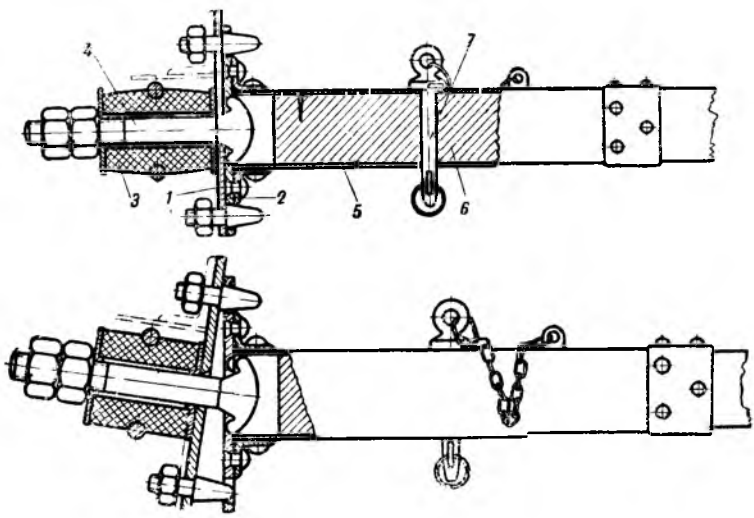


Рис. 311. Прикрепление дышла к ваге:
1 — шайба; *2* — дышловая шайба; *3* — буфер; *4* — болт; *5* — дышловая труба; *6* — дышло; *7* — засов

Когда передний конец дышла поднимается, шайба *2* отходит, вращаясь около верхней точки соприкосновения ее с шайбой *1*, и болт *4* вытягивается вперед, сжимая буфер *3*, как показано на рис. 311 внизу. То же самое происходит при колебании дышла в любом направлении, и следовательно, эти колебания смягчаются упругостью буфера.

Данное приспособление упругого соединения дышла с повозкой было предложено Каргиным и часто называется упругим дышлом Каргина.

Благодаря упругому соединению крюков, вальков и дышла всякая неравномерность в движении повозки менее беспокоит движитель.

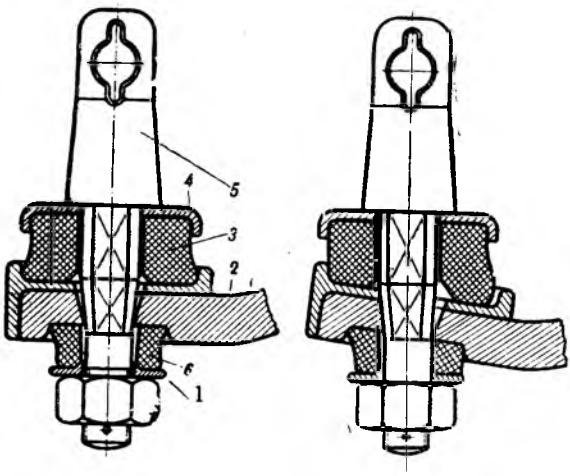


Рис. 312. Прикрепление шворня к лапе:

1 — нижняя тарель; *2* — шворневая лапа; *3* — верхний буфер; *4* — верхняя тарель; *5* — шворень; *5* — нижний буфер

Шворень соединяется лапой с задним ходом тоже с применением буферных прокладок, как это видно на рис. 312, чем достигается уменьшение жесткости ударов между ходами повозки. Хвост шворня *5*, проходящий через шворневую лапу *2*, буфера *3* и *6* и тарели *4* и *1*, имеет в поперечном сечении форму квадрата со срезанными углами, причем стороны этого квадрата меньше, чем размеры отверстия такой же формы в лапе и тарелках. Вследствие этого шворень может отклоняться от своего основного положения, как показано на рис. 312 (справа), но не может поворачиваться. Последнее условие необходимо для сохранения постоянства положения ключа, вставляемого в поперечное отверстие шворня и предотвращающего соскакивание заднего хода со шворня. Таким образом достигается достаточная гибкость и независимость ходов.

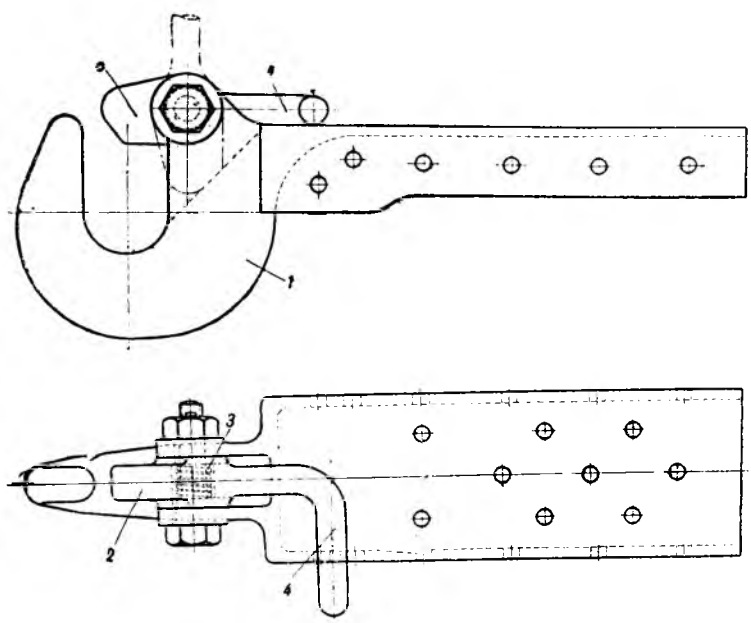


Рис. 313. Сцепной крюк передка:

1 — крюк; *2* — защелка; *3* — пружина к защелке; *4* — рукоять

Широко распространено крюковое соединение ходов. На переднем ходе укрепляется сцепной крюк (рис. 313), а на заднем ходе — шворневое кольцо. Для соединения ходов кольцо заднего хода надевают на крюк, при этом защелка *2* под давлением кольца опускается и пропускает

кольцо, а затем упругостью вставленной в нее пружины *3* поднимается кверху. Благодаря этому предупреждается возможность соскакивания кольца с крюка. При переходе в боевое положение защелка может быть повернута за рукоять *4*.

3. Передки тяжелой артиллерии

В корпусной артиллерии для уменьшения веса систем передки устраивают без коробов для возки боеприпасов. Раньше эти передки делали без подрессоривания, почему они в общем имели очень простое устройство. В настоящее время передки тяжелых систем делают подрессоренными.

Более тяжелые системы для перевозки приходится разбирать на части, из которых некоторые накладываются на отдельную повозку (как например ствол), а некоторые представляют собой повозку (как например лафет). Эти повозки имеют весьма разнообразное устройство сообразно с особенностями конструкции системы.

В числе механизмов этих повозок имеются домкраты, лебедки, вороты и другие части, облегчающие работу с тяжелыми системами.

4. Тормозы походного движения

Для торможения повозок сначала применяли, а иногда применяют и теперь, простые тормозы в виде каната с клепнем. Канат прикрепляют одним концом к повозке. При необходимости тормозить клепень вкладывают между спицами колеса заднего хода, и вращение этого колеса прекращается, — оно начинает скользить, чем достигается торможение.

Другой вид тормоза, сходный с предыдущим, — это башмак, прикрепленный на цепи к заднему ходу. При употреблении башмак кладут на пути движения колеса заднего хода; оно накатывается на башмак и скользит вместе с ним. В этом тормозе изнашивается башмак, а не шина, как в первом случае, что, конечно, более выгодно.

Для растормаживания при этих тормозах нужно повозку остановить, откатить ее несколько назад и вынуть клепень или башмак, что, конечно, представляет существенные неудобства. Кроме того, в этих тормозах нельзя изменять силу торможения.

В настоящее время, наравне с описанными тормозами, применяют главным образом тормозы следующих видов:

1. Ленточный тормоз. Со ступицей колеса составляет одно целое барабан *1* (рис. 314). На оси *5* закреплен сектор *2*, а на нем — один конец стальной ленты *3*. Другой конец ленты скрепляется с рычагом *4*, который шарнирно укреплен на неподвижной относительно колес части повозки (например на оси). При вращении верхнего конца рычага по направлению стрелки лента плотно прилегает к барабану, и на соприкасающихся поверхностях развивается большая сила трения, которая и тормозит вращение колеса. Чтобы не держать рычаг нажатым вручную во все время торможения, имеется защелка, которая, заскакивая в зубцы дуги сектора *2*, удерживает этим рычаг в приданном ему положении.

2. Колодочный тормоз (рис. 315). К ступице колеса также приделывается барабан *1*, внутри которого помещается диск *2*, неподвижно закрепленный на оси *3*. На этом диске на шарнирах подвешены две колодки *4*. Между нижними концами колодок пропущена ось *5* с двумя диаметрально противоположными кулачками *6*. На этой оси насажена рукоять. Если рукоять повернуть, то кулачки, нажимая на колодки, разведут их, и они сильно прижмутся к внутренней поверхности барабана. Рукоять удерживается в приданном ей положении при помощи защелки, так же как и рычаг в ленточном тормозе. Чтобы колодки не болтались, когда торможение не производится, их нижние концы стягиваются пружиной *7*. Трущиеся при торможении поверхности колодок или ленты в ленточном

тормозе для их сбережения покрываются каким-либо материалом, например кожей или феррадо, что одновременно увеличивает коэфициент трения.

Эти виды тормозов удобнее тормозов с клепнем и башмаками тем, что они могут быть приведены в действие или расторможены в любое время без остановки движения, но и в них не устранен недостаток, заключающийся в том, что при торможении изнашиваются шины.

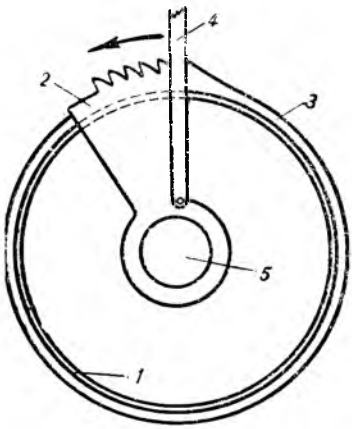


Рис. 314. Ленточный тормоз:

1 — барабан; *2* — сектор; *3* — лента; *4* — рычаг; *5* — ось

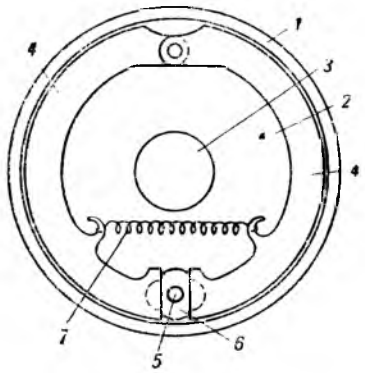


Рис. 315. Колодочный тормоз:

1 — барабан; *2* — диск; *3* — ось; *4* — колодки; *5* — ось кулачков; *6* — кулачки; *7* — пружина

Во избежание вредного действия набегания прицепок на трактор в случае уменьшения скорости движения его, в прицепках устраивают тормозы того или другого вида, причем обычно эти тормозы приводятся в действие особыми номерами. Это никак нельзя признать удовлетворительным решением вопроса, так как чаще всего невозможно уследить за изменением режима работы тракториста. Поэтому необходимо разработать тормозы прицепок с управлением ими водителем.

ГЛАВА VII

ПЕРЕХОД ИЗ ПОХОДНОГО ПОЛОЖЕНИЯ В БОЕВОЕ И ОБРАТНО

1. Общие замечания

В системах небольших калибров чаще всего применяют либо крюковой, либо шворневой способ соединения ходов, причем задний ход есть не что иное как система в боевом положении. При этом соединение и разъединение ходов осуществляются весьма просто и с небольшой затратой времени (30—40 секунд).

В системах корпусной артиллерии для облегчения системы в походном положении орудийный передок, как сказано раньше, не нагружается боеприпасами, имеет весьма простое устройство и потому небольшой вес — около 0,5 *m*, а часто и значительно меньше. Для более равномерной нагрузки ходов ствол в этих системах при переходе в походное положение оттягивается назад (рис. 316). В связи с этим для перехода в боевое положение уже недостаточно одного расцепления хода, а нужно произвести еще следующие действия:

а) не снимая хобота (что и не по силам орудийному расчету ввиду большого веса хобота), сдвигают ствол вперед (относительно лафета);

б) соединяют ствол с противооткатными приспособлениями;

в) снимают хобот с передка и откатывают последний;

г) раскрепляют поворотный и подъемный механизмы.

На выполнение этих действий требуется около 10—15 минут.

Системы, которые для походного движения разбираются на части, требуют для перехода из походного положения в боевое и обратно от 20 минут до 2—3 часов. Например, 152-*мм* пушка обр. 1910 г. составляет две повозки, весом каждая около 4 *т*, и для перехода из одного положения в другое требует около 20 минут, а 280-*мм* гаубица, составляющая в походе четыре повозки, весом каждая около 5 *т*, — около 1 часа [1].

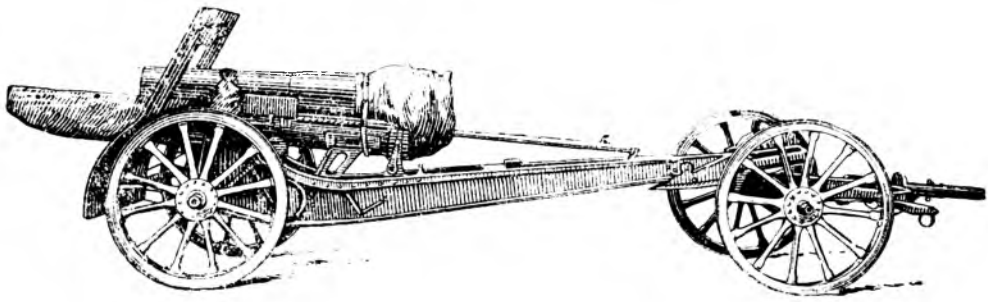


Рис. 316. Система корпусной артиллерии в походном положении

Системы универсальных орудий представляют особый интерес в отношении разрешения вопроса о переходе из одного положения в другое, так как в этих системах обычно имеются три-четыре хобота-лапы, закрепляющиеся забиваемыми в землю клиньями или сошниками. Далее, центр тяжести у этих систем по необходимости располагается высоко, что отрицательно влияет на устойчивость повозок. Поэтому стремятся понижать центр тяжести повозки, делая системы опрокидывающимися (системы Виккерса, Шкода, Рейнметалл и др.). Первоначально в системах этого рода „переход" требовал много времени — до 15—20 минут (американская пушка Т3). Но благодаря дальнейшему усовершенствованию и более рациональному распределению обязанностей между номерами орудийного расчета удалось это время резко уменьшить, и в настоящее время оно колеблется нормально в пределах 2—3 минут.

2. „Переход" зенитных систем

Приводим описание „перехода" зенитной пушки [2].

На рис. 317 изображена зенитная система в боевом положении. Для перехода из боевого положения в походное ход накатывается, как изображено на рисунке, и присоединяется к одной из лап с помощью крюков и рычагов. Затем крепятся поворотный и подъемные механизмы и ставится штырь-вертлюг в основное положение, так как при работе горизонтирующим механизмом штырь был выведен из этого положения. Навешивают цепь *3* на болт *1* хода. Разъединяют тумбу *4* с платформой *5* и опрокидывают всю систему на ход, действуя канатом, закрепленным предварительно на дульной части. При этом цепь *3*, закрепленная другим концом на задней части тумбы, падающей тумбой вытягивается кверху. Но так как ее длина определенная, то для того, чтобы это перемещение переднего конца цепи *3*, скрепленного с тумбой, могло происходить, нужно, чтобы задний ее конец, соединенный с ходом, опускался, что, однако, невозможно, так как колеса стоят на месте. Вследствие этого происходит подъем — вращение всей системы около опоры передней лапы, как это видно на рис. 318. Подъем этот уменьшает энергию падения опрокидывае-

[1] Время „перехода" взято из таблицы издания Артиллерийского управления 1916 г. В брошюре Н. Тихомирова „Артиллерия большой мощности" соответственные числа следующие: для 152-*мм* пушки — 20 минут, а для гаубицы — 2—4 часа (стр. 98—99).

[2] „Техника и вооружение", 1936, № 3, статья: „Оценка некоторых зенитных систем", стр. 14 и след.

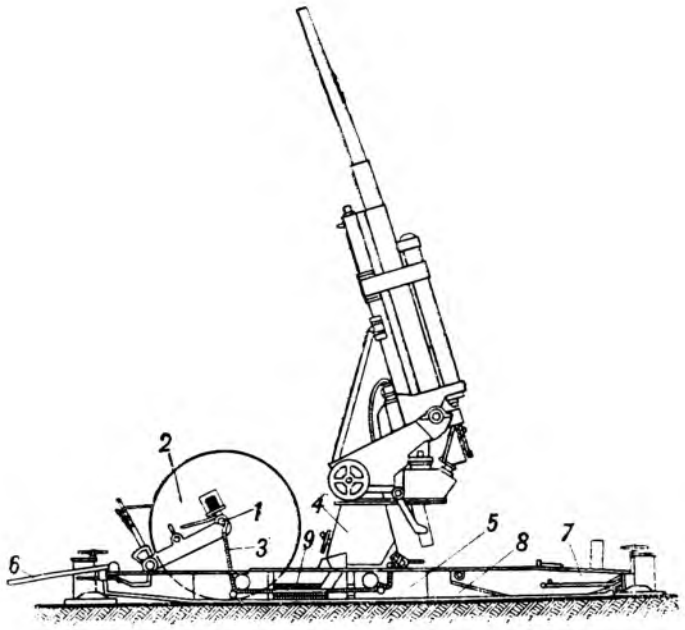


Рис. 317. Этапы „перехода" зенитной пушки. Боевое положение:

1 — болт хода; *2* — ход; *3* — цепь; *4* — тумба; *5* — платформа; *6* — рама крепления по-походному; *7* — передняя лапа; *8* — жесткая часть ее; *9* — плавающая пружина

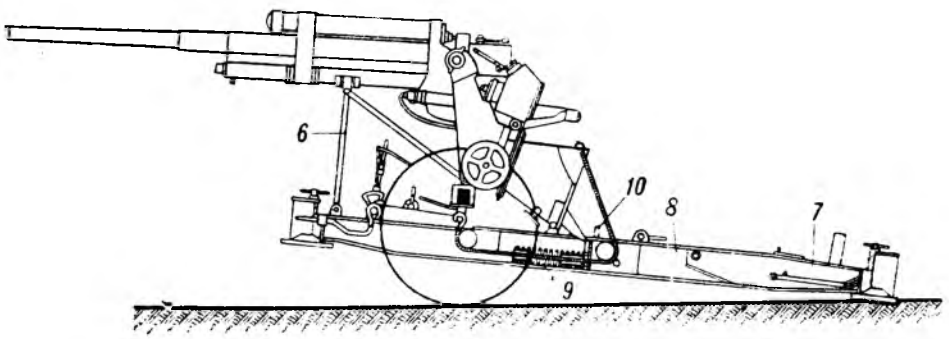


Рис. 318. Промежуточное положение:

10 — пружинный буфер

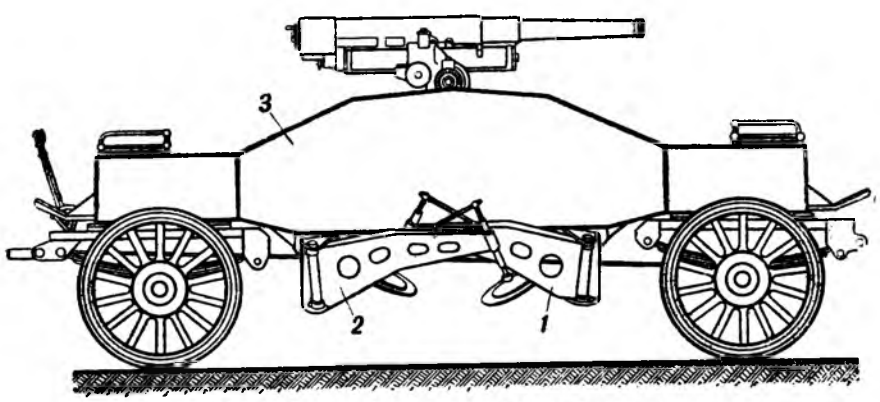


Рис. 319. Повозка зенитной артиллерии:

1 и *2* — лапы; *3* — откидные борта

мой системы, почему падение ее происходит довольно спокойно. После этого опрокинутая часть скрепляется с задней лапой при помощи рамы *6*. Боковые и передняя лапы после раскрепления их шарниров поднимаются вверх и стягиваются тягами. Вся система принимает довольно компактный вид. Когда передняя лапа *7* поднята, то на ее нешарнирной, жесткой части *8* открывается проушина, которой вся система может быть соединена с тягачом.

Для смягчения ударов системы при ее опрокидывании при переходе в походное положение и в особенности при обратном переходе в боевое положение, когда вес опускающейся части всей системы содействует падению опрокидываемой части, имеются плавающая пружина *9* и особые пружинные буферы *10*.

У зенитных орудий требование сочетать подвижность с возможностью придавать большие углы поворота (360°) породило особый тип повозок, на которых система перевозится и с которых она ведет стрельбу.

На рис. 319 представлен вид такой зенитной пушки на повозке в походном положении. Для перехода в боевое положение нужно повернуть лапы *1* и *2* в стороны и систему выровнять домкратами, имеющимися на концах лап; при этом рессоры сами собой разгружаются. После этого или одновременно с выравниванием следует откинуть откидные борта *3*, в результате чего образуется платформа для орудийного расчета.

3. „Переход" тяжелых систем

В системах тяжелых нередко ствол для похода укладывают на особую повозку — орудийную повозку. В этом случае система составляет на походе две повозки (орудийную и лафет) или более.

Переход из боевого положения в походное в этом случае осуществляется так. На повозке или на лафете укреплена лебедка. Трос лебедки присоединяют к орудийной повозке и, работая лебедкой, выбирают его. От этого повозка накатывается на лафет особыми катками по рельсам на лафете. Орудию придается определенный угол. Когда повозка накачена,

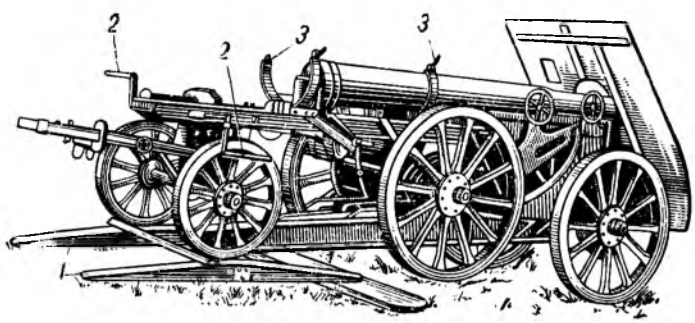


Рис. 320. „Переход" тяжелой артиллерии:
1 — клинья; *2* — рукоятки лебедки; *3* — бугели

ее скрепляют либо с люлькой, либо с лафетом. Ствол соединяют с тросом той же лебедки или особой, другой, и разъединяют с противооткатными приспособлениями. Затем, травя лебедку, постепенно, плавно спускают ствол на повозку, где его надежно закрепляют бугелями. Продолжая травить трос лебедки, спускают повозку со стволом с лафета. В боевое положение переводят обратным порядком. На рис. 320 изображен момент, когда орудийная повозка накачена на лафет и скреплена с ним. Ствол уже частью сдвинут на повозку. На рисунке видны клинья *1*, облегчающие вкатывание повозки на лафет, рукоятки *2* лебедки, которой ствол подвигается на повозку, и бугели *3*, которыми ствол закрепляется на повозке.

На рис. 321 показан прием перевозки обеих повозок в виде поезда, который может быть прикреплен стрелой к трактору-тягачу.

Стрела в случае прицепки к трактору присоединяется к повозке шарнирно с пружинными оттяжками. Ее кольцо, надеваемое на крюк

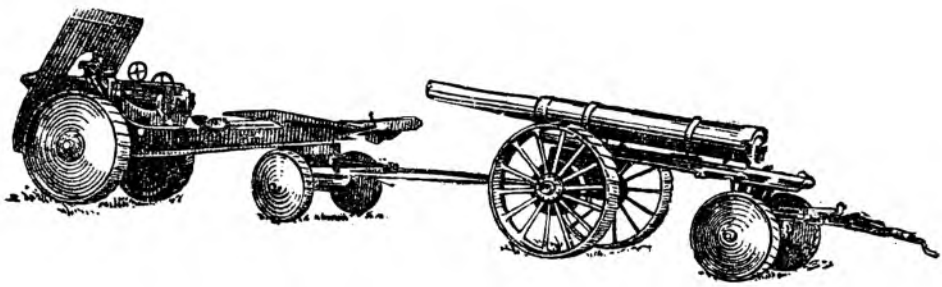


Рис. 321. Перевозка тяжелой системы

тягача, имеет буферы, действующие в обе стороны и смягчающие усилия при увеличении или уменьшении скорости тягача.

Пружинные оттяжки соединяют передний конец стрелы с вагой и смягчают резкие толчки, которые могли бы получиться при поворотах одного хода относительно другого. Эти оттяжки видны на рис. 321. Что же касается буферов, то их устраивают весьма разнообразно, но часто по схеме, изображенной на рис. 322. При увеличении скорости движения стержень *2* со шворневым отверстием продвигается вперед относительно стрелы *1*, и пружина *3* сжимается между передней стенкой стрелы и подвижной шайбой *4*, надетой на стержень *2*. При замедлении движения стержень *2* продвигается назад, и пружина сжимается между той же шайбой *4*, прилегающей к задней перегородке стрелы, и утолщенной передней частью стержня.

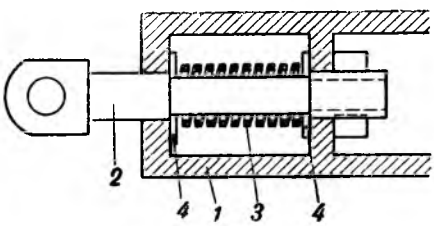


Рис. 322. Схема буфера в стреле заднего хода:

1 — стрела; *2* — стержень; *3* — пружина; *4* — шайбы

ГЛАВА VIII

САМОХОДНЫЕ УСТАНОВКИ

Самоходными установками называют такие артиллерийские системы, в которых орудие может вести стрельбу с той автоповозки, которая служит и для перевозки его.

Самоходные установки в случае небольших калибров чаще всего представляют собой тумбы (тумбовые установки), которые крепят неподвижно или подвижно на основной раме шасси (рис. 323), или подобие береговых установок с откатом станка по раме, причем ствол откатывается по люльке, качающейся вокруг своих цапф на станке. В этом случае верхнюю поверхность рамы шасси делают наклонной вперед, как и в поворотных рамах (рис. 324).

На рис. 323 схематически изображена самоходная установка 75-*мм* полевой пушки завода С.-Шамон. По дорогам эта система может двигаться на колесах обычного автомобильного типа; при движении же без дорог и в бою систему ставят на гусеницы, а колеса поднимают кверху. Орудие и орудийный расчет прикрыты щитом. На орудийной повозке возят 50 выстрелов.

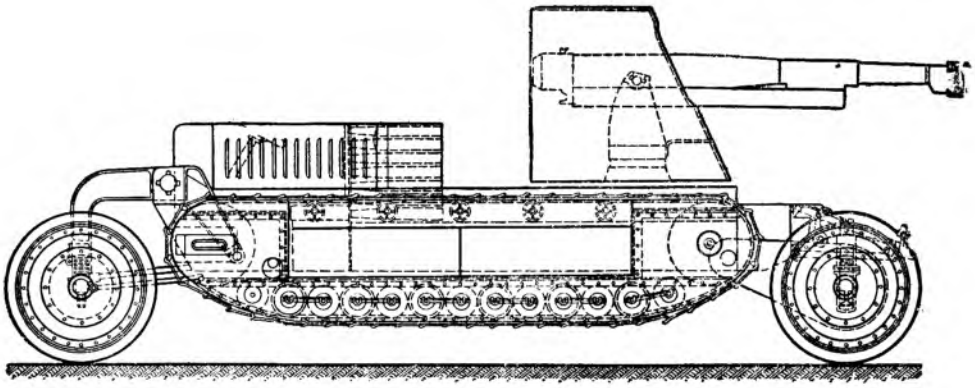


Рис. 323. Схема самоходного орудия небольшого калибра

На рис. 324 представлена схема тяжелого орудия (калибром около 155 *мм*) на самоходной установке второго типа. Здесь боковая наводка достигается поворотом всей системы на гусеницах. Этот поворот может быть произведен моторами или вручную, для чего имеются лебедки, приводящие в движение гусеницы. Для подъема снарядов имеется кран

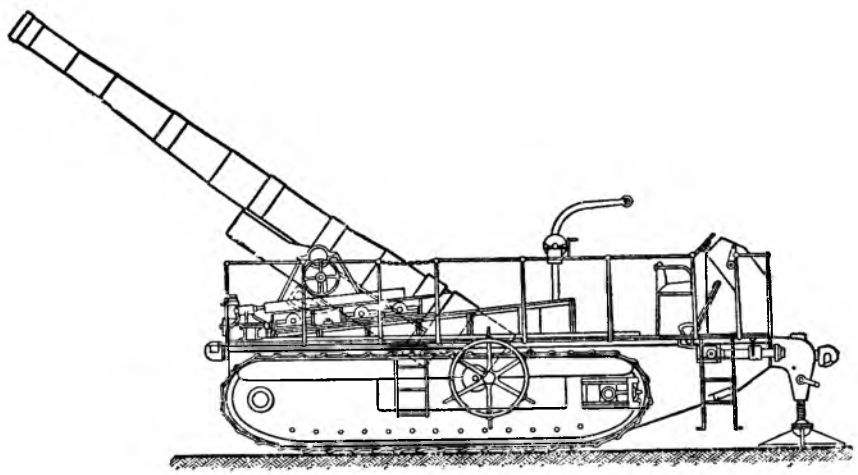


Рис. 324. Схема самоходного орудия крупного калибра

При очень большом весе системы рекомендуется для походного движения разделять ее на две части: одна часть — образующая прицепку поворотная рама со всем на ней расположенным, и вторая часть — движитель.

ГЛАВА IX

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЕ УСТАНОВКИ

Для перевозки артиллерийских грузов и орудийных систем железные дороги использовались с самого начала их появления. Так же давно начали использоваться железнодорожные платформы не только для перевозки орудий, но и для стрельбы с них. Таким образом появился новый вид артиллерии — железнодорожной.

В США в бою при Ричмонде 29 и 30 июня 1862 г. применялась 32-фунтовая пушка, установленная на четырехосной платформе. В эту же

войну были случаи применения орудий обычного типа для стрельбы с железнодорожных платформ. Так например, при осаде Питтсбурга применялась 5-пудовая мортира на железнодорожной установке.

Первой попыткой специальной установки орудия на железнодорожной платформе, при устройстве которой были приняты специальные приспособления для уменьшения действия силы отдачи на рессоры, оси, колеса и путь, следует признать проект установки 120-*мм* длинной пушки или 155-*мм* короткой, предложенный в восьмидесятых годах прошлого столетия французским генералом Пейне и разработанный инж. Кане, почему эту систему называют Пейне-Кане.

Существующие железнодорожные установки по условиям стрельбы с них делят на следующие виды:

а) допускающие стрельбу с любой точки пути без всяких специальных приспособлений и даже в движении;

б) допускающие стрельбу с любой точки пути, но скользящие при выстреле по нему;

в) допускающие стрельбу с любой точки пути, но связывающиеся с ним;

г) устанавливающиеся на особых основаниях.

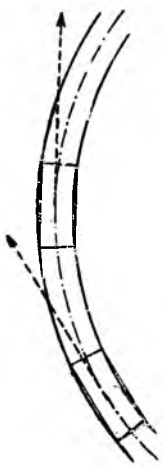


Рис. 325. Закривленный путь для боковой наводки

К первой категории могут быть отнесены бронепоезда и орудия небольших калибров, устанавливаемые открыто или в казематах на специальных железнодорожных платформах. На бронепоездах орудия обычно устанавливаются в броневых башнях, вращающихся на 360° на платформе. Промежутки между башнями, если орудий устанавливается несколько, и остальная часть платформы закрываются обычно броней, под защитой которой располагаются пулеметы и боеприпасы.

Стрельба может производиться не только при остановке поезда на месте, но и в движении, хотя в последнем случае вследствие тряски на стыках и поворотах стрельба менее точна.

Не входя в подробное рассмотрение устройства других видов железнодорожных установок, заметим, что современные тяжелые системы на транспорте имеют весьма ограниченный угол поворота (около 2—4°). Поэтому для выполнения боковой наводки устраиваются закривленные ответвления путей (усы).

Первоначальное направление орудию придается установкой в соответствующем месте кривой пути (рис. 325); более же точно боковая наводка выполняется укрепленным на задней тележке винтом, которым перемещают в ту или иную сторону хобот платформы-станка, вращающегося около вертикальной оси передней тележки. Угол поворота $1^1/_2$—2°. По мере откатывания по кривому пути, после некоторого числа выстрелов стрельба по данной цели станет невозможной, ввиду трудности выполнения боковой наводки, и орудие приходится накатывать на прежнее место, что выполняется либо с помощью ворота, имеющегося на платформе, либо с помощью мотрис.

В системах железнодорожных установок довольно полно удовлетворяются два обычно противоречивых требования: большого могущества и большой подвижности. Привязанность к железнодорожным путям и обычно небольшой угол обстрела в горизонтальной плоскости ограничивают значение подвижности, но при этом следует принять во внимание большую дальнобойность этих орудий (это позволяет устанавливать их вдали от целей), а также неподвижность и значительные размеры целей, по которым чаще всего ведется огонь из этих могущественных орудий.

При разработке орудийных систем для железнодорожных установок, помимо требований, предъявляемых к артиллерийским орудиям вообще,

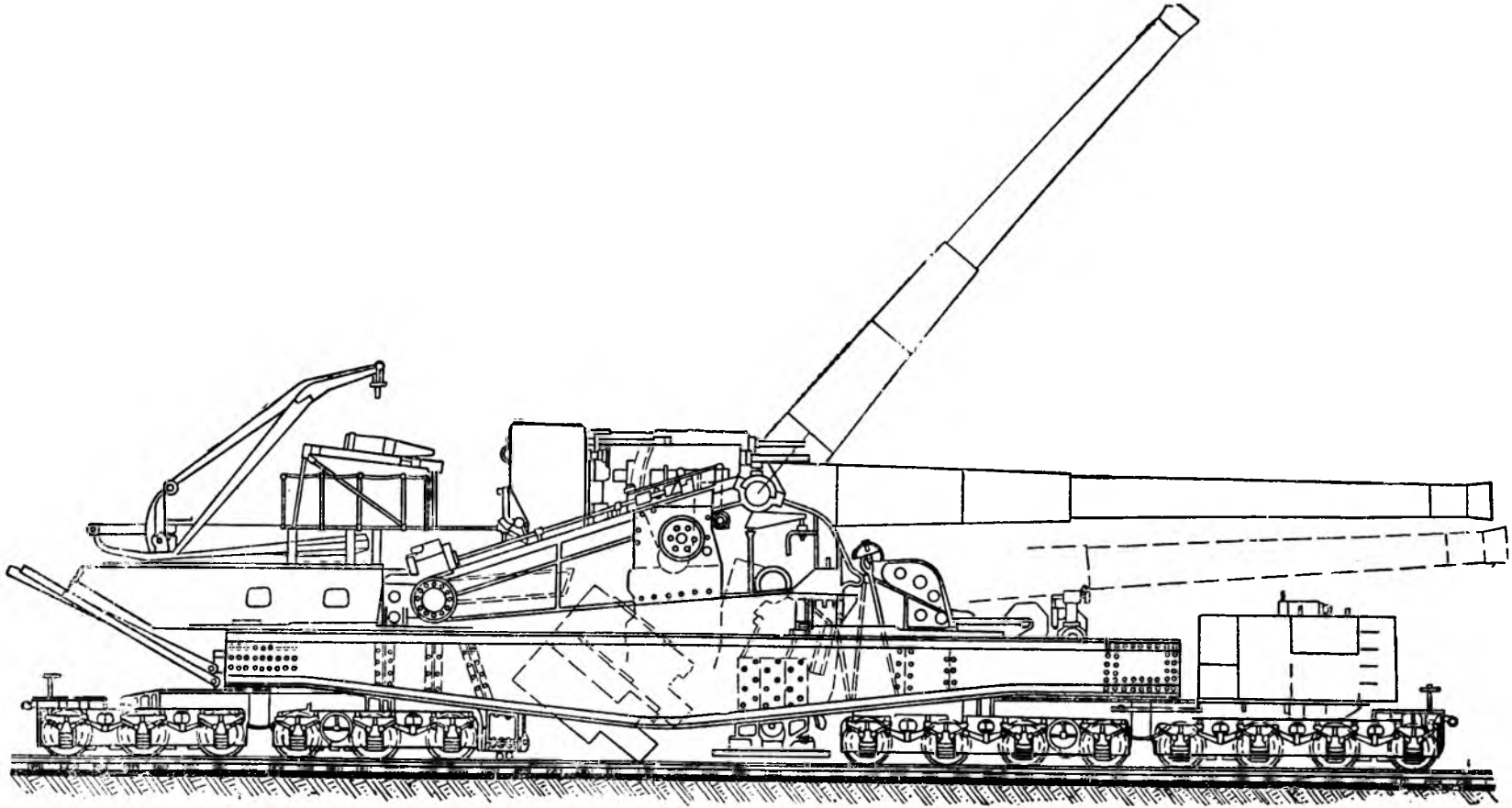


Рис. 326. Схема железнодорожной установки

должны быть учтены еще специальные требования, вызываемые особенностями их движения и боевой службы на железнодорожных путях. А именно: необходимо принимать во внимание габариты, чтобы система могла проходить по мостам и виадукам, чтобы ее части не задевали рычагов стрелок и т. п. Предполагая действия во вражеской стране, надо устроить хода так, чтобы они могли переходить с колеи одной ширины на колею другой ширины. Надо рассчитать число осей, чтобы давление на них не выходило за допустимые пределы (около 20—22 *т* на ось). Длина транспортера должна быть установлена в соответствии с закруглениями путей.

На закривлениях путей балка транспортера располагается по хорде дуги пути, и стрелка этой дуги, отсекаемой внутренней линией транспортера, может оказаться при большой длине транспортера настолько большой, что транспортер выйдет за допустимые габариты.

Вследствие большого веса систем, достигающего иногда 300 *т* и больше, его распределяют на большое число осей (16—18), которые подводят под несколько тележек, для того чтобы система была поворотливой. Тележки соединяются между собой балками (горбылями) с помощью штырей, а балки двух тележек соединяются уже балкой транспортера (рис. 326).

Всю систему для облегчения ее обслуживания механизируют и электрифицируют.

Таблица 66

Данные орудий на железнодорожной установке

Наименование орудия	*q* в *кг*	ω * в *кг*	φ в °	γ в °	*D* в *м*	$Q_{п}$ в *т*	*L* ** в *м*
356-*мм* пушка	708	213	50	3,5	38 400	340	24,4
406-*мм* гаубица	953	103	62	3,5	22 400	340	24,4

* ω — вес заряда.
** *L* — полная длина установки.

ОТДЕЛ ДЕВЯТЫЙ

СТРЕЛКОВОЕ ОРУЖИЕ

★

ГЛАВА I

АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕ[1]

1. Введение

В состав стрелкового оружия обыкновенно включают индивидуальное вооружение бойцов, а также пулеметы и гранатометы. Резкой границы между артиллерийским и стрелковым вооружением нет, и некоторые виды орудий, например пушки малых калибров, до 20 *мм* включительно, иногда относят к стрелковому вооружению.

Стрелковое оружие может быть подразделено на оружие неавтоматическое и автоматическое.

Появление первых образцов ручного огнестрельного оружия относится к XIV веку. Первые образцы представляли собой железную или бронзовую трубку, в казенной части которой имелось отверстие для сообщения огня заряду при помощи тлеющего фитиля. Вместо современной ложи в оружии для удобства действия применяли металлический стержень.

В результате постепенного совершенствования ручного оружия (появление ложи для упора в плечо — XV век, изобретение штыка — XVII век и др.) к концу XVIII века было разработано гладкоствольное заряжающееся с дула кремневое ружье, которым и вооружалась пехота. Наиболее важные усовершенствования, относящиеся к ручному оружию, были выполнены в XIX веке: изобретение нарезных ружей и бездымного пороха, успехи в области обработки металлов, обеспечившие возможность уменьшения калибра оружия, а также изобретение оболочечной пули.

Для иллюстрации ниже приведены сравнительные данные кремневого ружья конца XVIII века и магазинной винтовки конца XIX — начала XX века[2]:

Таблица 67

Род оружия	Пехотное гладкоствольное заряжаемое с дула кремневое ружье конца XVIII века	Пехотные магазинные винтовки, стреляющие патронами с бездымным порохом, конца XIX — начала XX века
Калибр в *мм*	17,78	6,5—8,0
Вес оружия в *кг*	4,90	4,1—4,5
Вес пули в *г*	25,60	10,66—13,86
Вес патрона в *г*	38,40	22,4—29,80
Число носимых патронов	40—60	120—200
Начальная скорость пули в *м/сек*	Около 457	610—730
Дальность стрельбы в *м*	213	2 000

[1] Глава I в основе своей была написана профессором А. А. Благонравовым для учебника „Материальная часть автоматического стрелкового оружия" и переработана для настоящего издания военинженером 1 ранга Н. Н. Дубовицким, главным образом в сторону сокращения.

[2] В. Федоров, Эволюция стрелкового оружия, ч. I, стр. 15.

Автоматическое оружие появилось во второй половине XIX столетия. Основными причинами, вызвавшими его появление, были: 1) стремление увеличить мощность стрельбы путем повышения скорострельности оружия; 2) стремление использовать возможно бо́льшую часть энергии, развиваемой боевым зарядом при выстреле. Кроме того, при более полном использовании энергии, развиваемой боевым зарядом, появилась возможность облегчить условия работы стрелков, избавив их от ряда приемов и операций при боевом обслуживании оружия.

2. Современное автоматическое оружие. Его свойства

Автоматическим оружием называется огнестрельное оружие, в котором энергия, развиваемая получающимися при сгорании боевого заряда газами, используется не только для сообщения снаряду (пуле) необходимой скорости движения, но и для выполнения различных действий, связанных с производством выстрела: открывания и закрывания затвора, выбрасывания гильзы, перезаряжания ствола, взведения и спуска стреляющего приспособления и др. Как и всякое современное огнестрельное оружие, автоматическое оружие имеет ствол с затвором.

В автоматическом оружии применяют в основном два способа закрывания ствола: 1) при помощи затвора, сцепленного со стволом во время выстрела, и 2) при помощи затвора, не сцепленного со стволом, а только прикрывающего ствол сзади.

Для повторения выстрела необходимо, по удалении из ствола стреляной гильзы, ввести в ствол новый патрон. Этот процесс называется перезаряжанием ствола и складывается из ряда отдельных этапов: а) расцепление затвора со стволом (если затвор сцепленный); б) отделение затвора от ствола; в) извлечение стреляной гильзы из патронника; г) удаление стреляной гильзы из оружия; д) досылание нового патрона в патронник ствола; е) закрывание ствола затвором и ж) сцепление затвора со стволом. Основные механизмы автоматического оружия и выполняют все перечисленные действия за счет энергии, развиваемой боевым зарядом.

Воспламенение боевого заряда в современном оружии производится при помощи ударного механизма. Энергия, потребная для разбития капсюля, получается от боевой пружины. В неавтоматическом оружии взведение боевой пружины производится за счет затраты мускульной энергии стрелка. В автоматическом оружии боевая пружина взводится специальным механизмом за счет энергии боевого заряда.

Спуск ударника или курка осуществляется с помощью спускового механизма, в зависимости от устройства которого автоматическое оружие подразделяется на оружие самострельное и оружие самозарядное.

В самострельном оружии автоматически производится не только перезаряжание оружия новым патроном, но и взведение и спуск ударного механизма, причем спусковой механизм позволяет ведение непрерывного или автоматического огня до тех пор, пока стрелок не прекращает действия на спусковой механизм. Промежуток времени между последовательными выстрелами в этом случае очень мал и определяется временем, потребным для завершения процесса перезаряжания и работы боевой пружины. Поэтому самострельное оружие обычно обладает большой скорострельностью.

В самозарядном оружии автоматически осуществляется только перезаряжание оружия и взведение ударного механизма. Для спуска же последнего с боевого взвода требуется действие стрелка на спусковой механизм для каждого выстрела. Следовательно, из самозарядного оружия возможно ведение только одиночного огня. Промежутки времени между последовательными выстрелами могут быть различной продолжительности, в зависимости от желания стрелка. Скорострельность самозарядного оружия меньше скорострельности оружия самострельного.

При необходимости в спусковой механизм вводят специальный переводчик или переключатель огня, позволяющий использовать одно и то же оружие и как самострельное и как самозарядное.

Скорострельность автоматического оружия. Как уже указывалось, одной из основных причин, обусловивших появление и развитие автоматического оружия, было стремление увеличить скорострельность автоматического оружия, т. е. увеличить число выстрелов, которое можно произвести из оружия в единицу времени. Различают скорострельность теоретическую, или так называемый темп стрельбы, и скорострельность практическую.

Под темпом стрельбы понимается число выстрелов, которое можно произвести из данного оружия в единицу времени без учета времени, потребного на заряжание, прицеливание и его исправление. Иными словами, понятие „темп стрельбы" характеризует зависимость скорострельности от работы механизмов автоматики (механизма подачи патронов, механизма перезаряжания, механизма, производящего выстрел); чем быстрее производится работа этих механизмов, тем выше темп стрельбы. Следует отметить, что на темп стрельбы оказывает влияние не только устройство самых механизмов, но и устройство всего оружия в целом, например размеры и вес патрона, калибр оружия и др.

Под практической скорострельностью подразумевают наибольшее количество выстрелов, которое можно произвести из данного оружия в единицу времени с учетом затраты времени на прицеливание и его исправление, а также на смену магазина или ленты с патронами. Таким образом, практическая скорострельность характеризует свойства оружия в условиях его боевого применения и зависит как от устройства механизмов оружия, так и от условий применения оружия и его свойств в целом. Понятие „практическая скорострельность" применимо для характеристики и самострельного и самозарядного оружия.

Теоретическая скорострельность современного автоматического оружия, предназначенного для стрельбы по наземным целям, достигает 400—600 выстрелов в минуту, а теоретическая скорострельность зенитных и авиационных пулеметов достигает 1 200 выстрелов в минуту и больше. Практическая скорострельность составляет около 25—40 выстрелов в минуту для оружия самозарядного и около 150—400 выстрелов (в зависимости от типа оружия) для оружия самострельного. Повышение практической скорострельности представляет собой одну из актуальнейших задач совершенствования и развития автоматического оружия.

Балистические свойства. В целях унификации (единства) патрона автоматическое оружие чаще всего проектируют под патрон, принятый для оружия неавтоматического. Поэтому балистические свойства автоматического оружия по существу не отличаются от балистических свойств оружия неавтоматического.

Несколько иначе обстоит дело в отношении меткости и кучности боя оружия. В неавтоматическом оружии меткость и кучность боя в основном определяются: а) качеством самого стрелка, его умением стрелять; б) „прикладистостью" оружия, т. е. тем, насколько устройство оружия позволяет стрелку удобно к нему приспособиться; в) качеством прицельных приспособлений; г) балистикой оружия; д) влиянием отдачи и е) некоторыми другими факторами, например вибрацией ствола, качеством его изготовления, степенью износа оружия, устройством спускового механизма и др.

Перечисленные факторы остаются в силе и для оружия автоматического, но в последнем появляются и новые факторы, действующие в направлении увеличения рассеивания выстрелов. Так например, если стрельба ведется непрерывным огнем, то на результат каждого последующего выстрела, помимо отдачи, оказывают влияние толчки и удары, получаемые оружием при работе некоторых механизмов.

Поэтому для увеличения меткости и кучности боя при стрельбе непрерывным огнем следует обращать особое внимание на такие факты, как стабильность (устойчивость) оружия при выстреле, уменьшение влияния отдачи и др. Кроме того, ряд непрерывно следующих один за другим выстрелов через короткие промежутки времени сильно затрудняет возможность пользования прицельными приспособлениями, и точная корректировка прицела бывает возможна обычно лишь при перерывах огня. Автоматическое оружие, таким образом, требует особых забот в смысле повышения меткости и кучности боя.

Маневренные свойства. В понятие „маневренные свойства" автоматического оружия входит его подвижность, гибкость огня и удобство боевого применения.

Автоматизация оружия неизбежно приводит к возрастанию его веса как вследствие необходимости иметь магазин на большое число патронов, так и вследствие введения в оружие ряда механизмов, обеспечивающих автоматическое действие. В оружие с большой практической скорострельностью, во избежание перегрева ствола, вводят системы охлаждения ствола, вследствие чего вес оружия еще больше возрастает. Обеспечение необходимых маневренных свойств автоматического оружия, с другой стороны, главным образом зависит от его веса, почему уменьшение веса оружия требует пристального внимания и большого искусства конструкторов, а также использования достижений современной металлургии. Оружие, снабженное станком или лафетом, обладает гибкостью огня, зависящей, кроме того, от свойств станка или лафета.

Готовность к немедленному открытию огня автоматического оружия достигается также с несколько бо́льшим трудом. В пулемете Максима, например, для открытия огня надо проделать ряд операций: вставить ленту в приемник, дважды продернуть ее, поворачивая при этом рукоятку для перезаряжания и отпуская ее. Нажав затем на предохранитель, можно открыть огонь.

Надежность работы автоматического оружия. В понятие „надежность действия" автоматического оружия включают: безотказность службы оружия, прочность его деталей, простоту и безопасность обращения с оружием и легкость обучения владению им.

При стрельбе из автоматического оружия гораздо чаще, чем при стрельбе из неавтоматического, встречаются случаи неправильного действия механизмов вследствие сложности устройства и большого количества их. Результатом этого являются так называемые задержки или вынужденные перерывы огня большей или меньшей продолжительности. Естественно, что при конструировании оружия нужно стремиться к уничтожению причин, вызывающих задержки.

Механизмы автоматического оружия действуют в условиях, чрезвычайно невыгодных с точки зрения прочности их деталей (динамичность действия сил, возникающих в оружии при выстреле, и наличие нагрева некоторых деталей при стрельбе). Кроме того, условия боевой работы оружия требуют, чтобы оно действовало безотказно, например, при загрязнении или засорении песком. При этом некоторые детали оружия могут подвергаться нагрузкам во много раз бо́льшим, нежели при стрельбе из хорошо вычищенного и смазанного оружия. Поэтому конструктор должен принять меры к повышению прочности деталей автоматического оружия.

Детали автоматического оружия получают гораздо более интенсивный износ, чем детали оружия неавтоматического. Причиной этого являются как условия движения механизмов, так и то обстоятельство, что некоторые из них работают в условиях значительной нагрузки на детали, чего нет в неавтоматическом оружии. Например, износ опорных поверхностей затвора значительно возрастает в случае отпирания затвора при наличии давления в канале ствола. Ствол огнестрельного оружия быстрее изнашивается при более интенсивном режиме огня.

Вопрос о взаимозаменяемости деталей, весьма важный в отношении всякого оружия, особенно обостряется в случае автоматического оружия. Действительно, усиленный износ требует увеличения числа некоторых запасных частей, часто весьма ответственных. Большой расход боеприпасов в единицу времени, возможный для автоматического оружия, приводит, например, в некоторых случаях к необходимости заблаговременного снаряжения большого числа магазинов. Очевидно, что при этом полная взаимозаменяемость магазинов является обязательной.

Обеспечение безопасности в обращении с автоматическим оружием в служебных условиях и при стрельбе имеет очень большое значение. Необходимы устройства и приспособления, гарантирующие от случайных выстрелов и обеспечивающие производство выстрела при определенном положении механизмов оружия во избежание поломок оружия и опасности для стрелка. Например, требуется такое устройство стреляющего механизма, чтобы он не мог функционировать при не вполне закрытом затворе.

Эксплоатация автоматического оружия встречает бо́льшие затруднения, уход за ним сложнее, детальное изучение оружия более затруднительно. Автоматическое оружие требует более внимательного, развитого стрелка, требует большой культурности в обращении с ним.

Экономичность автоматического оружия и его живучесть. Автоматическое оружие, как правило, менее экономично, чем неавтоматическое оружие, как по стоимости своего изготовления, так и по степени сложности оборудования и длительности производственного процесса. Вопросы экономичности и надежности действия автоматического оружия тесно переплетаются в проблеме его живучести. В неавтоматическом оружии и в автоматическом оружии с несменяемым стволом (пистолеты, автоматические винтовки) полная живучесть системы определяется обычно износом ствола. Однако в большинстве образцов автоматического оружия (пулеметы всех видов) ствол делается съемным и оружие снабжается комплектом запасных стволов, а потому общая живучесть оружия определяется продолжительностью работы всей системы, с учетом находящихся в комплекте запасных деталей. Таким образом, предел службы автоматического оружия зависит от срока службы основных несменяемых частей.

Пути повышения живучести автоматического оружия следующие: а) увеличение прочности деталей путем разработки более совершенных конструкций; б) создание таких условий работы механизмов, при которых детали подвергались бы меньшим нагрузкам; в) рациональный выбор материалов, идущих на изготовление деталей оружия. В последнем случае большую роль играет применение специальных сталей.

Боевое питание. Автоматизация оружия усложняет вопросы боевого питания, так как расход боеприпасов для автоматического оружия в единицу времени больше и так как в большинстве случаев, кроме боеприпасов, требуется снабжение оружия и вспомогательными устройствами (патронные ленты и звенья, магазины, их снаряжение). Кроме того, автоматизация оружия связана иногда с необходимостью применения боеприпасов повышенного качества или введения дополнительной обжимки дульца гильзы во избежание выпадения пули при автоматическом перезаряжании.

Из изложенного следует, что автоматическое оружие обладает многими отрицательными чертами. Однако, несмотря на это, оно прочно вошло в систему вооружения и составляет основу современного стрелкового вооружения. Почти все вновь появляющиеся образцы стрелкового оружия являются автоматическими.

Причина этого лежит в больших преимуществах, приобретаемых оружием при его автоматизации в отношении мощности стрельбы, скорострельности и упрощения функций стрелка в бою (в смысле облегчения условий его работы по перезаряжанию оружия для производства выстрела).

Главнейшие задачи в области развития и совершенствования автоматического оружия следующие:

1) Повышение скорострельности автоматического оружия. Это особенно важно для стрельбы по зенитным целям (наземные пулеметы), а также для стрельбы с самолета по самолету (авиационные пулеметы).

2) Улучшение балистических качеств оружия (увеличение начальной скорости, улучшение формы пули и др.), что необходимо для повышения бронебойной способности пуль.

3) Повышение меткости и кучности боя оружия.

4) Улучшение маневренных качеств оружия (понижение веса, повышение гибкости огня и пр.).

5) Повышение надежности действия, живучести и экономичности оружия.

6) Бо́льшая универсализация оружия для обеспечения возможности решения большего числа огневых задач одним и тем же видом оружия. Универсализация оружия необходима для упрощения организации и управления боем, а также для облегчения боевого питания и подготовки войск. Вопрос универсализации оружия представляется одним из наиболее сложных.

3. Принципы устройства и действия автоматики. Классификация систем автоматического оружия

Совокупность механизмов автоматического оружия, действующих от энергии боевого заряда, называют автоматикой оружия. В зависимости от способа использования энергии пороховых газов для приведения автоматики в действие различают следующие классы, группы и типы автоматики.

Класс I. Системы автоматического оружия, действующие на принципе использования отдачи. Эти системы называются иногда системами, работающими от давления пороховых газов на затвор.

Во время выстрела пороховые газы оказывают давление на дно канала ствола, образуемое дном гильзы, подпертой затвором. Через дно гильзы давление передается на затвор и вызывает движение затвора, если он не связан прочно со стволом, или ствола, если затвор связан с ним, а ствол может перемещаться в оружии, или, наконец, всего оружия, если затвор связан со стволом, а последний не может перемещаться по отношению ко всему оружию в целом. В зависимости от упомянутых трех случаев отдачи системы автоматического оружия, относящиеся к данному классу, могут быть разделены на три группы.

Группа 1. *Системы с отдачей затвора.* Эти системы отличаются тем, что у них: 1) ствол не имеет поступательного движения; 2) канал ствола закрывается затвором, не связанным со стволом или же связанным так, что эта связь нарушается с началом движения самого затвора; 3) работа всех механизмов автоматики связана только с поступательным движением затвора в направлении оси канала ствола.

В зависимости от связи затвора со стволом различают три типа автоматического оружия с отдачей затвора.

Тип А. Системы с отдачей свободного затвора. Затвор, не имеющий никакого сцепления со стволом, а только прижимаемый к казенной части ствола пружиной, называют свободным затвором. Действие автоматики в данном случае сводится к тому, что сначала под давлением пороховых газов, передаваемых через дно гильзы, а затем по инерции затвор вместе с гильзой отходит от ствола, сжимая пружину. При этом гильза удаляется из ствола, после чего под действием разжимающейся пружины затвор возвращается обратно, захватывая по пути очередной патрон и досылая его в патронник ствола (рис. 327). Примером оружия с автоматикой данного типа являются системы: пистолет Браунинга,

пистолет-пулемет Бергмана, пистолет-пулемет Дегтярева, ручной пулемет Ревелли обр. 1929 г., 20-*мм* автоматическая пушка Беккера, автоматическая пушка Эрликон и др.

Особенность автоматики этого типа заключается в том, что отход затвора от ствола вместе с гильзой начинается с момента начала развития давления пороховых газов. Давление газов одновременно действует на дно и стенки гильзы, раздувая ее и прижимая к стенкам патронника, а это вызывает значительное трение гильзы в патроннике. Чем легче затвор, тем быстрее совершается его отход от ствола и тем больше раздутие гильзы; при очень легком затворе получаются разрывы гильз. Поэтому данная система нашла преимущественное применение в оружии с относительно маломощным патроном, имеющим короткую гильзу (пистолеты).

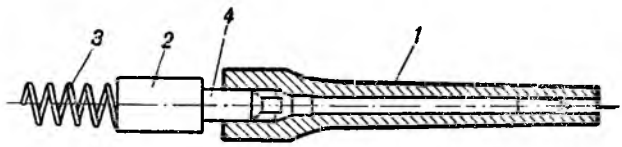


Рис. 327. Схема оружия со свободным затвором:
1 — ствол; *2* — затвор; *3* — возвратная пружина; *4* — гильза

Тип Б. Системы с отдачей полусвободного (самооткрывающегося) затвора. Отличие этих систем от предыдущего типа состоит в том, что их устройство обеспечивает более медленный выход гильзы из ствола при выстреле, но не за счет утяжеления затвора, а за счет сцепления со стволом, самопроизвольно нарушающегося при движении, или за счет усложнения затвора путем составления его из нескольких частей. В последнем случае передняя часть затвора, непосредственно подпирающая гильзу, при своем незначительном перемещении вызывает более энергичное движение других частей. В зависимости от этого встречаются две разновидности полусвободных затворов.

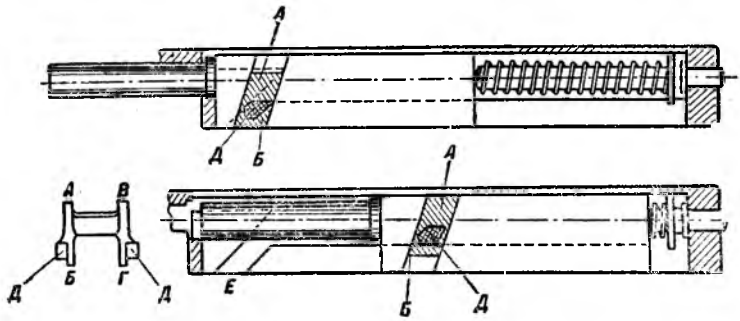


Рис. 328. Схема пистолета-пулемета Томсона

Примером первой разновидности может служить устройство пистолета Бергмана обр. 1901 г., в котором первоначальное движение связано с преодолением значительного трения, а также винтовка Манлихера обр. 1891 г., в которой затвор сцеплен со стволом боевыми выступами, находящимися в наклонных пазах ствольной коробки. Поступательное движение затвора этой винтовки сопровождается его поворотом при значительном трении, чем и замедляется первоначальное движение затвора.

Пистолет-пулемет Томсона также принадлежит к этой разновидности автоматического оружия, хотя устройство системы запирания у него несколько своеобразно. В этой системе призматический затвор, квадратного сечения, на своих боковых сторонах имеет наклонные пазы, в которые входят лапки вилкообразного вкладыша *АБВГ* (рис. 328). Лапки снабжены выступами *Д*, входящими в наклонные пазы ствольной коробки *Е*. При большом давлении на затвор механизм оказывается самотормозящим, и вкладыш заклинивается. При уменьшении давления трение между

поверхностями вкладыша и пазов уменьшается, и вкладыш выжимается вверх, расцепляя затвор с некоторым опозданием относительно начала выстрела.

Схема устройства затвора второй разновидности показана на рис. 329, где затвор изображен состоящим из двух частей. При передвижении части *1*, непосредственно закрывающей ствол, при помощи поворачивающегося рычага часть затвора *2* перемещается на значительно бóльшую величину, вследствие чего скорость части *2* больше скорости части *1*; работа давления пороховых газов в основном расходуется на сообщение движения детали *2*, и деталь *1* двигается медленнее, чем если бы она была непосредственно соединена с деталью *2*.

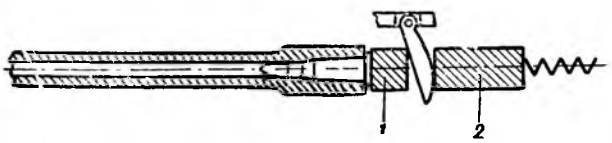


Рис. 329. Схема оружия с полусвободным затвором

Аналогичная идея заложена в устройстве системы запирания пулемета Шварцлозе.

Возможно объединение обоих этих принципов системы запирания, как это, например, осуществлено в пулемете SIA, где затвор, отодвигаясь назад, поворачивается, так как его выступ скользит при наличии большого трения в наклонном пазу ствольной коробки. Одновременно винтовым скосом затвора отодвигается назад массивный ударник, получающий значительно бóльшую скорость поступательного движения, чем самый затвор (рис. 330).

Системы этого типа автоматики обладают недостатками предыдущего типа, но в меньшей степени. В целях устранения поперечных разрывов гильз приходится прибегать к смазке патронов (пулемет Шварцлозе).

Тип В. Системы с отдачей затвора при наличии прочного сцепления затвора без самооткрывания. В этих системах, обладающих сцепленным со стволом затвором, последний открывается специальным механизмом, работающим благодаря какому-либо иному принципу использования энергии пороховых газов. Задача заключается в том, чтобы этот механизм сработал чрезвычайно быстро, раньше, чем закончится период давления газов в канале ствола; в противном случае затвор не получит движения. Работа таких систем ненадежна, и поэтому они сколько-нибудь широкого применения на практике не получили.

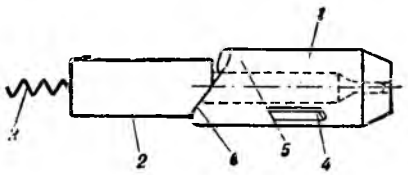


Рис. 330. Схема запирания пулемета SIA:

1 — остов затвора; *2* — ударник; *3* — возвратная пружина; *4* — скошенный выступ затвора; *5* — направление скоса ствольной коробки; *6* — винтовой скос затвора и ударника

Примером такого оружия является автоматическая винтовка системы Чеи-Риготти (1911 г.). Более совершенно принцип устройства такой системы разработан в автоматическом пистолете Сэвэдж, в котором затвор удерживается на месте до тех пор, пока пуля не покинула ствол. Затвор удерживается за счет давления пули на боевую грань нарезов, стремящегося повернуть ствол, причем последний заклинивает затвор до момента вылета пули.

Группа 2. *Системы с отдачей ствола.* Характерные признаки этой группы автоматического оружия: 1) подвижной ствол; 2) прочное сцепление затвора со стволом во время выстрела; 3) расцепление затвора происходит при движении ствола после выстрела.

Схема работы этой системы сводится к следующему. Давление пороховых газов, передаваемое через дно гильзы на затвор, в силу прочного сцепления последнего со стволом приводит в движение систему ствол—затвор в направлении, обратном движению снаряда (пули). Это движение происходит ускоренно в течение периода действия пороховых газов, после чего продолжается по инерции замедленно вследствие про-

тиводействия силы трения и сопротивления пружин. В дальнейшем расцепление затвора со стволом осуществляется с помощью механизмов отпирания затвора. После расцепления затвор отделяется от казенной части ствола на такое расстояние, чтобы оказались возможными удаление стреляной гильзы и досылка в патронник очередного патрона. Таким образом, после расцепления затвора со стволом каждая из этих частей автоматики движется независимо одна от другой. В зависимости от момента расцепления затвора со стволом и от того, при каком положении системы начинается перемещение затвора по отношению к стволу, эту группу систем автоматического оружия можно разделить на два типа.

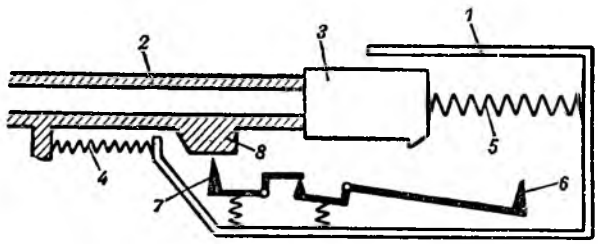


Рис. 331. Схема системы с отдачей ствола. Длинный ход ствола:

1 — ствольная коробка; *2* — ствол; *3* — затвор; *4* — пружина ствола; *5* — пружина затвора; *6* — шептало; *7* — автоматический спуск; *8* — выступ ствола, действующий на автоматический спуск

Тип А. Системы с отдачей ствола, с длинным ходом ствола. Под этим названием понимают системы автоматического оружия, в которых ствол вместе с затвором (без расцепления) движется на полную длину хода подвижной системы. Последовательность работы автоматики следующая: ствол вместе с затвором передвигается в заднее положение, где затвор задерживается, а ствол под действием ствольной пружины возвращается в переднее положение. Это движение называют возвратным движением.

В рассматриваемых системах расцепление затвора происходит в самом начале возвратного движения ствола. Когда между затвором и стволом образуется промежуток, достаточный для перезаряжания оружия, затвор также начинает возвратное движение и, приходя в переднее положение, сцепляется со стволом (рис. 331). Для возвращения в исходное положение ствола и затвора служат отдельные пружины — ствольная и затворная.

Характерным в работе этих систем является то, что затвор остается неподвижным в течение возвратного движения ствола, и автоматика работает как бы в три такта: 1) движение системы назад; 2) движение ствола вперед; 3) движение затвора вперед. Поэтому системы этого типа обладают относительно небольшим темпом стрельбы.

Представителями этих систем автоматического оружия являются ручной пулемет Шоша, автоматическое ружье Браунинга.

Тип Б. Системы с отдачей ствола, с коротким ходом ствола. Отличие систем этого типа от предыдущего заключается в расцеплении затвора со стволом еще в период движения системы из переднего положения в заднее. Поэтому движение ствола назад может быть прекращено на значительно меньшем пути, чем движение затвора скользящего типа (рис. 332). Последовательность работы автоматики сводится к следующему. Сначала ствол вместе со сцепленным с ним затвором движется назад под давлением пороховых газов. По прохождении некоторого пути срабатывает механизм, расцепляющий затвор. После этого части системы двигаются независимо друг от друга. Дальнейшее движение может происходить по различным схемам: а) пройдя незначительный путь после расцепления затвора, ствол задерживается в своем заднем положении, а затвор продолжает движение назад на величину пути, достаточную для перезаряжания ствола, меняет направление своего движения, досылает патрон в патронник, сцепляется со стволом и вместе с последним приходит в крайнее переднее положение, чем цикл работы автоматики и заканчивается; б) пройдя некоторый путь после расцепления затвора, ствол немедленно начинает свое возвратное движение и приходит

в переднее положение, в то время как затвор продолжает двигаться назад и затем возвращается в переднее положение независимо от движения ствола, причем величина отхода затвора от ствола должна быть достаточной для перезаряжания ствола; в) если затвор движется не по направлению движения ствола (затвор качающийся, клиновой затвор в автоматических пушках), то отпирание и отодвигание затвора совершаются во время движения ствола назад, причем после отодвигания затвора до его запирания должно быть обеспечено достаточное время для перезаряжания ствола. Ствол в это время, непрерывно двигаясь, заканчивает цикл своего движения.

В зависимости от этих трех схем движения различают разновидности систем с коротким ходом ствола, отличающихся по конструктивному оформлению механизмов, отпирающих и запирающих затвор.

По первой схеме работают, например, автомат Федорова, пулемет Дрейзе, Бергмана и др., по второй схеме — пулемет Максима, по третьей схеме — пулемет Мадсена.

Особенность устройства систем с коротким ходом ствола заключается в наличии в них так называемых ускорительных механизмов, помогающих движению затвора за счет энергии движения ствола. Чтобы детальнее уяснить назначение ускорительного механизма, допустим, что к моменту расцепления затвора заканчивается действие пороховых газов. В этот момент система обладает наибольшей скоростью движения, причем после расцепления ствол и затвор обладают вначале одинаковыми скоростями, но кинетическая энергия ствола, обычно более массивного, чем затвор, будет больше. Дальнейшее движение ствола фактически делается ненужным, а затвор, наоборот, должен отойти от ствола и выполнить перезаряжание. Отсюда следует необходимость в более правильном перераспределении энергии, т. е. передачи ее от ствола затвору при помощи какого-то механизма, который и называют ускорительным. Наиболее примитивно можно выполнить ускорительный механизм в виде рычага, который под действием ствола отталкивает затвор; при этом реакция со стороны рычага на ствол тормозит его движение.

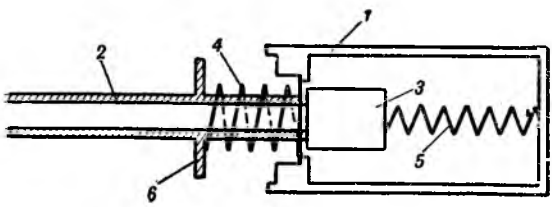


Рис. 332. Схема системы с отдачей ствола. Короткий ход ствола:

1 — ствольная коробка; *2* — ствол; *3* — затвор; *4* — пружина ствола; *5* — пружина затвора; *6* — выступ ствола, ограничивающий его движение назад после расцепления с затвором

В системах с относительно легким стволом при наличии короткого патрона, требующего незначительного отхода затвора от ствола, можно обойтись без ускорительного механизма (пистолеты).

В большинстве случаев в оружии этого типа применяют две пружины—ствольную и затворную, хотя возвращение ствола и затвора в переднее положение можно осуществить и одной пружиной (пулемет Максима, Дрейзе).

Группа 3. *Системы автоматического оружия, работающие на принципе отдачи всего оружия.* Признаками этой системы являются: 1) наличие сцепленного со стволом затвора при стволе неподвижном относительно всего оружия; 2) наличие инерционного тела, используемого для открывания затвора, т. е. такой детали оружия, которая при отдаче оружия, стремясь по инерции остаться в покое, смещается относительно оружия, чем приводит в действие механизм открывания затвора.

Наиболее типичным представителем этой группы является оружие системы Шегреня, в котором инерционное тело, смещаясь по отношению к оружию вперед, сжимает рабочую пружину, накапливая в ней энергию. Разжатие пружины вызывает отбрасывание инерционного тела назад, причем последнее производит отпирание затвора и захватывает затвор с собой. В исходное положение система возвращается пружиной затвора.

В системе Маузера инерционное тело только отпирает затвор, а отбрасывание затвора совершается действием давления пороховых газов, остающегося в канале к моменту отпирания. Для осуществления этого необходимо (в оружии данного типа), чтобы инерционное тело успело отпереть затвор раньше, чем кончится действие пороховых газов. Таким образом, отдача всего оружия используется лишь для отпирания затвора, а работа автоматики совершается за счет отдачи затвора, т. е. эта система является системой автоматики смешанного типа.

Основной недостаток этого оружия — ненадежность работы автоматики. Например, если дать оружию абсолютно жесткую опору, то отдача оружия будет ликвидирована реакцией этой опоры, и автоматика действовать не будет. В зависимости от того, как плотно вставлен в плечо приклад автоматической винтовки, построенной на этом принципе, условия работы автоматики также окажутся различными. В силу этого недостатка подобные системы не получили развития.

Класс II. Системы автоматического оружия, устройство которых основано на действии пороховых газов, отводимых из канала ствола, на специальные детали оружия. Эти системы кратко называют также системами с отводом пороховых газов. Часть пороховых газов отводится из канала ствола и вне ствола действует на подвижную деталь, связанную с механизмами автоматики.

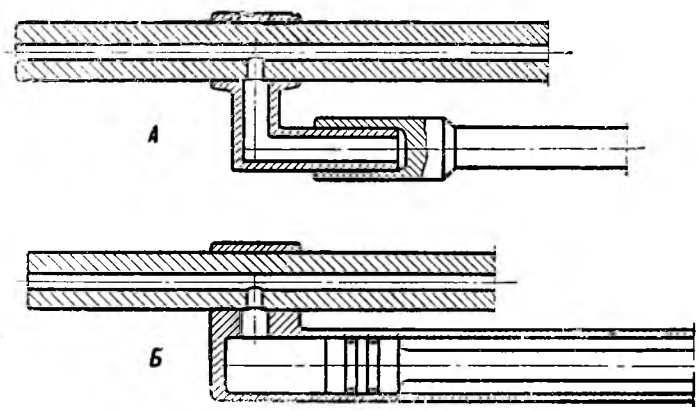


Рис. 333. Типы газовых камор:
А — открытая камора; *Б* — закрытая камора

В зависимости от пути отвода пороховых газов этот класс можно разбить на три группы: 1) с отводом газов через специальное боковое отверстие в стволе; 2) с отводом газов через дуло (использование отработанных пороховых газов после вылета пули); 3) с отводом газов через дно гильзы.

Группа 1. *Системы с отводом пороховых газов через отверстие в стенках ствола.* Схема работы этих систем следующая. Через отверстие в стенке ствола пороховые газы поступают в полость, называемую газовой каморой. Их доступ в газовую камору возможен только тогда, когда пуля, двигаясь по каналу ствола, минует газоотводное отверстие. Таким образом, момент начала работы автоматики запаздывает по сравнению с началом выстрела. В газовой каморе помещается подвижной поршень, с которым соединены тяга или шток. Под давлением газов поршень со штоком приходит в движение, приводит в действие отпирающий затвор механизм, а в дальнейшем отбрасывает (отодвигает) затвор от ствола. Действием пружины затвор и шток возвращаются в исходное положение, причем происходит перезаряжание ствола. Ствол в оружии неподвижен.

Если поршень при своем движении выходит из газовой каморы (отделяется от нее), то газовую камору называют открытой; если же поршень при своем движении не выходит из пределов газовой каморы, то ее называют закрытой (рис. 333). В зависимости от направления движения поршня автоматическое оружие данной группы можно разделить на три типа.

Тип А. Системы с отводом пороховых газов с поршнем, движущимся назад в направлении, обратном движению пули (рис. 334). Этот тип является наиболее распространенным в систе-

мах автоматического оружия, так как из всех систем с отводом пороховых газов он имеет наиболее простое конструктивное оформление. Движение штока назад совпадает с направлением движения скользящего затвора при открывании (именно такой тип затвора и применяется в этом случае), и поэтому связь штока с затвором осуществляется просто.

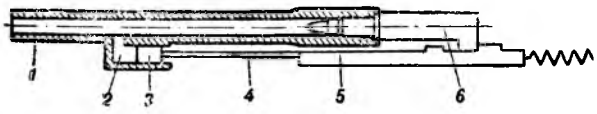


Рис. 334. Схема устройства оружия с отводом пороховых газов. Движение поршня назад:

1 — ствол; *2* — газовая камора; *3* — поршень; *4* — шток; *5* — рама; *6* — затвор

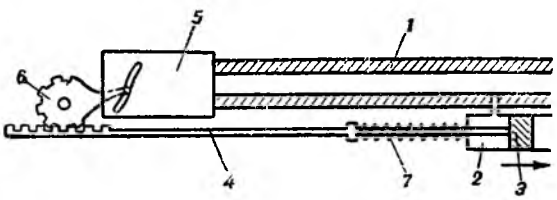


Рис. 335. Схема устройства пулемета Сан-Этьен:

1 — ствол; *2* — газовая камора; *3*—поршень; *4* — шток с зубчатой рейкой; *5* — затвор; *6* — зубчатое колесо, передающее движение штока затвору; *7* — возвратная пружина

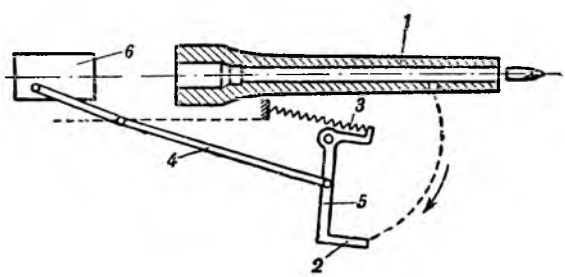


Рис. 336. Схема устройства пулемета Кольта:

1 — ствол; *2* — поршень; *3* — возвратная пружина; *4*—шатун; *5* — мотыль; *6* — затвор

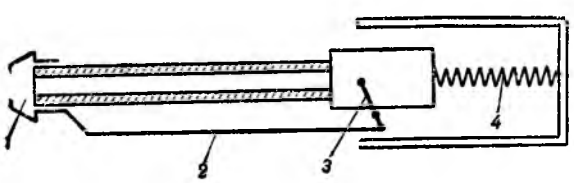


Рис. 337. Схема системы оружия с отводом газов через дуло:

1 — подвижный надульник; *2* — тяга; *3* — рычаг, соединяющий тягу с затвором; *4* — возвратная пружина

Оружие этого типа бывает двух разновидностей: 1) движение штока совершается на полную длину отхода затвора, т. е. шток остается связанным с затвором в течение всего цикла работы автоматики (длинный ход штока); 2) движение штока совершается на небольшой длине, достаточной для отпирания затвора, после чего шток, толкнув затвор и передав таким образом последнему движение, возвращается в переднее положение, а затвор совершает цикл своего движения независимо от штока (короткий ход штока).

Первый тип автоматики находит применение в пулемете Дегтярева, Льюиса, Шательро и др. Второй тип автоматики часто встречается в автоматических винтовках.

Тип Б. Системы с отводом пороховых газов и с движением поршня вперед. Этот тип представляет собой видоизменение предыдущего типа и отличается только тем, что направление движения поршня со штоком при открывании затвора противоположно направлению движения последнего. Это требует наличия достаточно сложного механизма, передающего движение от штока к затвору. Поэтому такой тип оружия нерационален.

Пулемет Сан-Этьен, представитель этого типа автоматического оружия, имеет подобное устройство лишь потому, что представляет собой переделку другой системы, в которой был упомянутый механизм (рис. 335).

Тип В. Системы с отводом пороховых газов и с поршнем, укрепленным на шатуне, качающемся на оси. Пулемет Кольта (рис. 336) — единственный образец оружия этого типа, не имея никаких преимуществ по сравнению с типом А, обладает более сложным

механизмом передачи движения затвору. Это устройство также считают нерациональным.

Группа 2. *Системы с отводом газов через дуло.* Представителями этой группы являются ружье системы Банга и пулемет Пюто. Схема действия следующая (рис. 337). Выходящая из дула после вылета пули струя пороховых газов ударяет в надульник, могущий двигаться вперед относительно ствола. Соединяясь тягой с затвором, надульник при своем движении производит открывание и отодвигание затвора. Механизм, передающий затвору движение, устроен так же, как в типе Б предыдущей группы. Если надульник закрепить на стволе, но дать возможность стволу двигаться вперед, то получится иной тип автоматики; при этом ствол под влиянием трения пули будет стремиться двигаться вперед еще до вылета пули.

Группа 3. *Системы с отводом пороховых газов через дно гильзы.* Подобные системы неоднократно патентовались. Наибольшей известностью пользуется система Рота, схема работы которой заключается в том, что пороховые газы, проникая через затравочные отверстия в гнездо капсюля, выжимают последний. Капсюль, нажимая на ударник, образует род поршня в своем гнезде, а ударник играет роль штока, движение которого используется для приведения в действие механизма отпирания затвора.

Как видно из схемы устройства (рис. 338), для этой системы требуется патрон со специальной гильзой, имеющей очень толстое дно, что невыгодно в производственном отношении. Кроме того, прорыв газов через капсюльное гнездо приводит к загрязнению оружия. Эти системы распространения не получили.

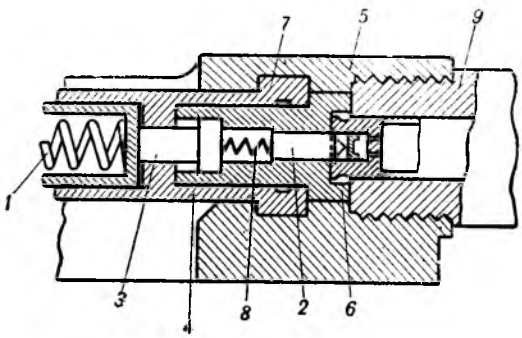


Рис. 338. Схема устройства пулемета Рота:

1 — возвратная пружина; *2* — ударник; *3* — курок, запирающий затвор; *4* — личинка; *5* — ствольная коробка; *6* — затвор; *7* — боевые выступы; *8* — пружина ударника; *9* — ствол

Класс III. Системы, в которых используется реакция врезания пули в нарезы и трение пули при движении ее по каналу ствола. Пуля, проходя из пульного входа в нарезную часть ствола, испытывает значительную деформацию, причем продольная составляющая сил, действующих со стороны пули на ствол, достаточно велика, чтобы вызвать движение ствола вперед. Если ствол сцеплен с затвором, то равнодействующая сил, приложенных к стволу, направлена в сторону, обратную движению снаряда (пули). Если же ствол не сцеплен с затвором, то он будет стремиться двигаться вперед. Поэтому признаками данной системы являются: 1) ствол, имеющий возможность движения в оружии в сторону полета пули; 2) затвор, не сцепленный со стволом.

При движении пули по каналу ствола составляющая сил трения и силы давления на боевую грань нареза, приложенных к стенкам канала со стороны пули в направлении ее движения, также имеет величину, достаточную для сообщения стволу некоторого ускорения, вплоть до момента вылета пули. После вылета пули ствол продолжает движение вперед по инерции на величину пути, достаточную для перезаряжания, сжимая при этом пружину, под действием которой затем и возвращается в исходное положение.

Принцип выката подвижной системы. Если произвести воспламенение капсюля патрона в тот период, когда подвижная система автоматики движется из заднего положения в переднее, то действие пороховых газов сначала будет направлено к торможению этого движения, а потом уже изменит направление движения на обратное. Такой принцип использования энергии пороховых газов называется принципом выката подвиж-

ной системы. Его применение обусловлено желанием уменьшить энергию отдачи или уменьшить влияние ударов подвижной системы в оружии на его живучесть и устойчивость при стрельбе. Признаки применения этого принципа можно видеть в автоматике пушки Эрликон, где начало выстрела происходит еще при движении свободного затвора вперед и развивающееся на дно гильзы давление пороховых газов, тормозя движение затвора, смягчает его удар при приходе в переднее положение. Если такой принцип применить в системе с отдачей ствола, то энергия отдачи может быть снижена весьма значительно. Применяя в системе с отводом пороховых газов этот же принцип (производя выстрел при наличии продолжающегося вперед движения штока с поршнем), можно избавиться от присущих этой системе ударов штока при приходе в переднее положение.

Механизированное огнестрельное оружие. Механизированным называют оружие, в котором энергия, развиваемая боевым зарядом, используется для сообщения движения пуле (снаряду), а энергия, необходимая для работы механизмов, получается от постороннего источника (двигателя). Системы эти до настоящего времени не получили применения главным образом из-за трудностей согласования режима работы механизмов оружия с протекающим независимо от этой работы процессом горения заряда в канале ствола. Требуется, например, специальный механизм, который устранял бы возможность преждевременного отпирания ствола при затяжном выстреле. Необходим также механизм, который устранял бы возможность разрушения деталей и механизмов оружия в случае непредвиденных задержек. Все это приводит к сложности конструкции и малой надежности оружия.

Механическое оружие. Были попытки перейти от огнестрельного оружия к механическому, т. е. вместо энергии, развиваемой боевым зарядом при выстреле, использовать энергию механического источника не только для работы обслуживающих оружие механизмов, но и для метания пули. Наиболее распространенной была идея создания „центробежных" пулеметов. Принцип устройства таких пулеметов в основном сводится к применению быстро вращающегося диска с направляющими, к которым от центра диска подаются пули, увлекаемые затем по этим направляющим к наружной поверхности диска под действием центробежной силы. Направление полета пули достигается соответствующей установкой диска. Детальное конструктивное оформление может быть выполнено различными способами, но типичными чертами механического оружия является его громоздкость, большое число оборотов вращающихся деталей, необходимость в моторе большой мощности, необходимость заблаговременного разгона диска и т. д. Вследствие этого данный тип оружия не привился на практике.

4. Виды современного автоматического оружия. Его назначение и требования, предъявляемые к нему

Рост военной техники, разнообразие целей и различные условия боевого использования привели к созданию довольно многочисленных видов автоматического оружия, существующего на вооружении современных армий. Разберем главнейшие требования, предъявляемые к каждому виду оружия.

Автоматические пистолеты. Автоматические пистолеты относятся к типу самозарядного оружия. Они предназначаются для поражения противника, находящегося в непосредственной близости (50 *м* и меньше). Отсюда происходит и название пистолета как оружия самообороны или оружия непосредственного нападения и самообороны.

Основное требование к автоматическим пистолетам — наличие хорошего останавливающего действия, т. е. возможность при стрельбе из них моментально выводить живую цель из строя. Поэтому автоматические пистолеты должны обладать достаточной мощностью (калибры современных пистолетов изменяются в пределах от 7,62 до 11,5 *мм*). Пуля пистолета легкая, поскольку полет ее на дальние дистанции не ну-

жен (веса пуль современных пистолетов, в зависимости от калибра оружия, колеблются в пределах от 4,9 до 14,3 *г*).

Пистолет должен быть всегда готов к действию и удобен для носки. Следовательно, от него требуются: а) безотказность действия; б) безопасность (надежные и легко управляемые пальцами правой руки предохранители от случайных выстрелов); в) небольшой габарит оружия и вес (заряженного пистолета) не больше 1 *кг*; г) достаточно емкий, легко сменяемый и удобно снаряжаемый магазин.

Меткость пистолета как для целевой стрельбы, так и при стрельбе „на вскидку" (такой вид стрельбы возможен в условиях непосредственной близости противника и при внезапности нападения) должна быть обеспечена. Средствами для этого служат: хорошая балансировка оружия, позволяющая удобно, без напряжения руки держать оружие при стрельбе, и мягкое действие спускового механизма (небольшое усилие на спусковом крючке, не выше 2—2,5 *кг*).

Для достижения хорошей балансировки оружия необходимо соблюдать следующие условия: 1) возможно низкое расположение оси канала ствола для уменьшения плеча отдачи; 2) расположение центра тяжести оружия возможно ближе к рукоятке; 3) наклон рукоятки по отношению к оси канала ствола в пределах 110—115°. Рукоятка должна плотно и удобно обхватываться рукой стрелка; поэтому следует избегать слишком широкой рукоятки.

Дополнительными требованиями к пистолету являются: 1) возможность при стрельбе сразу определить положение предохранителя и готовность оружия к выстрелу без специального осмотра; 2) отсутствие угловатых и выступающих деталей снаружи пистолета; 3) возможность устранения задержек без разборки; 4) возможность разборки и сборки пистолета без специального инструмента; 5) защита автоматики от попадания песка, грязи и т. п.; 6) по израсходовании всех патронов в магазине затвор должен оставаться открытым.

На вооружении Красной Армии состоит автоматический пистолет обр. 1930 г.

Пистолеты-пулеметы. Пистолетом-пулеметом было названо изготовляемое под пистолетный патрон самострельное оружие с длиной ствола значительно большей, чем у пистолета, и снабженное прикладом для стрельбы с упором в плечо (рис. 339). Особенностями этого вида оружия являются: а) простота конструкции (свободный затвор), обусловливаемая применением маломощного короткого пистолетного патрона; б) возможность стрельбы непрерывным и одиночным огнем; в) хорошая меткость и действительность огня на ближние дистанции (до 200 *м*); г) большая емкость магазина и возможность иметь большой носимый запас патронов.

Рис. 339. Общий вид пистолета-пулемета системы Дегтярева

Вес различных систем колеблется в пределах 3,25—4,5 *кг*; начальные скорости — 300—500 *м/сек*; темп стрельбы 450—1 200 выстрелов в минуту; практическая скорострельность до 250 выстрелов в минуту; прицельная дальность — до 700 *м*.

Простота конструкции, возможность значительного увеличения носимого запаса патронов, небольшой вес системы и удобство габаритов (общая длина пистолета-пулемета 700—800 *мм*, длина винтовки без штыка

1 000—1 250 *мм*) породили тенденцию к замене винтовки пистолетом-пулеметом. С этой целью некоторые системы пистолетов-пулеметов были снабжены штыком. Однако опыты показали, что по причине небольшой мощности, а главное, возможности ведения действительного огня лишь на ближайшие дистанции пистолет-пулемет не может заменить винтовку. Независимо от этого пистолет-пулемет является ценным оружием для вооружения специальных войск, пулеметного и артиллерийского расчета, а также пехоты, действующей в особых условиях.

Автоматические винтовки и карабины. Появление первых образцов автоматических винтовок относится к девяностым годам XIX столетия (система Манлихера 1891 г., Маузера 1899 г.). В России первая попытка конструирования автоматического ружья принадлежит мастеру Двоеглазову (1889 г.). Впервые на вооружение армии была принята автоматическая винтовка в Мексике (автоматическое ружье Мондрагона 1908 г.).

Сильнейшим толчком в области развития автоматических винтовок явилась война 1914—1918 гг. Причина этого лежит как в характере современных целей (неглубокие и узкие по фронту, а часто одиночные подвижные цели), борьба с которыми требует легкого, подвижного и удобоуправляемого оружия высокой скорострельности, так и в необходимости освободить стрелка от излишнего утомления, связанного со стрельбой из неавтоматической винтовки.

Автоматические винтовки проектировались как самозарядные, так и самострельные. Самострельная винтовка позволяет в нужные моменты боя (отражение или подготовка атаки) развить чрезвычайно интенсивный огонь. Однако длительного непрерывного огня винтовка выдержать не может из-за быстрого нагрева ствола. Кроме того, из-за малой устойчивости оружия при выстреле кучность боя автоматических винтовок как при ведении непрерывного огня, так и при ведении огня группками (3—4 выстрела) неудовлетворительна (по существу лишь первый выстрел в очереди является прицельным). Некоторое улучшение кучности боя достигается при помощи дульного тормоза, устойчивых сошек и замедлителя темпа стрельбы, но до конца эта задача еще не разрешена.

Самозарядная винтовка, имеющая практическую скорострельность до 25 выстрелов в минуту, позволяет получать кучность боя, не уступающую кучности боя неавтоматической винтовки. Поэтому в большинстве армий испытывали и испытывают для введения на вооружение винтовки самозарядные.

Автоматическая винтовка предназначена для решения в бою тех же задач, что и неавтоматическая винтовка; поэтому она должна обладать и всеми качествами последней. Одним из вытекающих отсюда первостепенных требований к автоматической винтовке является ограничение ее веса пределом в 4 *кг*, чтобы винтовка была оружием, не стесняющим бойца и не обременяющим его в любой боевой и походной обстановке. Повышенная, по сравнению с магазинной винтовкой, скорострельность требует и большего числа патронов в магазине (не менее 10).

Балистические качества автоматических винтовок не отличаются от тех же качеств магазинных винтовок, тем более что автоматические винтовки изготовляются обычно под патрон, состоящий на вооружении, и обладают, следовательно, начальной скоростью пули в пределах 800—900 *м/сек* при максимальном давлении пороховых газов до 3 500 *кг/см*^{2}.

Автоматические винтовки не должны исключать возможность применения специальных видов боеприпасов (трассирующих, бронебойных, зажигательных). Применение автоматических винтовок для стрельбы ружейными гранатами затруднительно, так как сильная отдача плохо воспринимается механизмами автоматического оружия, имеющими, как правило, менее прочные детали, чем детали магазинных винтовок. Длина современных автоматических винтовок колеблется от 1 100 до 1 250 *мм*. Автоматические винтовки, предназначенные для снайперской стрельбы, снабжаются оптическим прицелом. Воспринимаемая стрелком отдача ав-

томатической винтовки может быть значительно уменьшена при рациональном устройстве автоматики и применении дульного тормоза.

На рис. 340 показан общий вид автоматической винтовки Симонова.

Автоматические карабины отличаются от автоматических винтовок тем, что имеют более короткий ствол и, следовательно, несколько пониженные балистические качества. Они предназначаются для вооружения кавалерии и специальных родов войск. Реже встречаются самозарядные карабины, изготовленные под пистолетный патрон; карабины эти по балистическим свойствам не отличаются от пистолетов-пулеметов.

Рис. 340. Общий вид автоматической винтовки Симонова

Ручные пулеметы. Ручной пулемет является самострельным автоматическим оружием. Первый ручной пулемет был разработан в 1903 г. датским полковником Мадсеном, а несколько позднее во Франции были предложены ручные пулеметы: Шоша — 1907 г., Бертье—1908 г., Гочкиса—1909 г. В 1913 г. в Германии был предложен ручной пулемет Парабеллюм. Тем не менее до первой империалистической войны этот вид оружия не вышел из стадии испытаний. Лишь опыт этой войны показал большую ценность ручного пулемета как оружия пехоты для ведения боя на средних дистанциях. В результате этого уже в 1915 г. во Франции появился усовершенствованный пулемет Шоша под названием ружья-пулемета CSRG обр. 1915 г. В том же году в Англии появился и получил довольно широкое распространение пулемет Льюиса. К 1915 г. относится также появление ручного пулемета Бергмана в Германии. Ряд очень ценных образцов ручных пулеметов появился уже после войны: пулемет Шательро (1924 г., Франция); пулемет ZB (1926 г., Чехо-Словакия) и др. В СССР в 1927 г. был принят на вооружение РККА ручной пулемет Дегтярева.

Балистические свойства ручного пулемета аналогичны свойствам винтовки. По сравнению с автоматической винтовкой он обладает большей устойчивостью при стрельбе (наличие сошек) и позволяет ведение более длительного огня без перегрева ствола (наличие массивного сменного ствола). Это обеспечивает возможность стрельбы из ручного пулемета небольшими очередями (3—6 выстрелов) непрерывного огня при вполне удовлетворительной кучности на дальности до 1 000 *м*. Практическая скорострельность ручных пулеметов достигает 150 выстрелов в минуту, в соответствии с чем ручные пулеметы снабжают магазинами емкостью от 20 до 50 патронов.

Наибольшее внимание уделяется маневренным качествам ручного пулемета и в первую очередь его весу. Вес современного ручного пулемета колеблется в пределах 7—9 *кг*. Ручной пулемет обладает большой гибкостью огня (возможность стрельбы по наземным и низколетящим воздушным целям, быстрый перенос огня с одной цели на другую). Как правило, ручные пулеметы имеют переводчик для ведения одиночного огня. В бою ручной пулемет обслуживается группой бойцов в 3—4 человека.

Станковые пулеметы. Станковые пулеметы подразделяются на пулеметы тяжелого и легкого типа.

Станковые пулеметы тяжелого типа представляют собой самострельное автоматическое оружие, поставленное на устойчивый станок. Одним из первых станковых пулеметов тяжелого типа, подходящих к современным, является пулемет Максима.

Хирам Максим, американец по происхождению, изобрел свой пулемет в Англии (патент 1884 г.). Объединившись с Виккерсом, Максим организовал производство пулеметов. Первыми покупателями пулеметов Максима были южноафриканские буры, которые вскоре успешно применили их в войне против Англии. Несколько позднее состоялись испытания пулеметов Максима во Франции, Швейцарии, Австрии, Германии и других странах. В России пулемет Максима был впервые испытан в 1887 г., причем пулемет был встречен с недоверием. Боевое значение станкового пулемета в системе вооружения армии помогла оценить только русско-японская война, после которой во всех странах началось ускоренное снабжение войск пулеметами и организация их массового производства.

По своим боевым свойствам станковые пулеметы тяжелого типа являются одним из наиболее мощных огневых средств пехоты и конницы. Назначение их: а) поражение наземных живых целей на дальности до 3 *км*; б) обеспечение стрелковым подразделениям быстрого продвижения вперед в наступлении и атаке и упорное удержание позиций в обороне; в) поддержка атаки танков огнем по противотанковым средствам противника; г) борьба с воздушными целями на дальности до 1 500 *м*.

Основные преимущества станковых пулеметов тяжелого типа следующие:

а) благодаря наличию устойчивого станка рассеивание пуль при автоматическом огне из станковых пулеметов в полтора-два раза меньше по сравнению с ручными пулеметами;

б) наличие устойчивого станка, а также более интенсивной системы охлаждения ствола позволяет вести довольно продолжительный непрерывный огонь, что значительно повышает боевую, или практическую, скорострельность станковых пулеметов по сравнению с ручными пулеметами;

в) наличие устойчивого станка позволяет вести огонь из станковых пулеметов на большие дистанции по сравнению с ручными пулеметами и обеспечивает возможность стрельбы с закрытых позиций, поверх своих войск и в промежутки между ними, с рассеиванием пуль по фронту и в глубину.

Основной недостаток станковых пулеметов тяжелого типа — большой вес системы в целом, достигающий, с учетом веса охлаждающей жидкости, 32—55 *кг*, что понижает маневренные качества станковых пулеметов (уменьшение подвижности, усложнение боевого использования и обслуживания). В целях преодоления этого недостатка были созданы станковые пулеметы легкого типа, причем развитие пулеметов этого типа шло двумя путями.

Первый путь — установка пулемета тяжелого типа, облегченного за счет различного рода конструктивных изменений, на легкую треногу или сошку. Так был создан легкий пулемет Шварцлозе обр. 1907/12/16 г. и германский пулемет Максима обр. 1908/15 г. Последний отличался от станкового пулемета Максима обр. 1908 г. тем, что в нем вместо затыльника был поставлен приклад, введена пистолетная ручка со спусковой скобой, а диаметр кожуха несколько уменьшен. Это понизило вес пулемета с установкой до 18,2 *кг*.

Чаще всего конструктивные изменения станковых пулеметов тяжелого типа шли по линии замены водяного охлаждения воздушным. Так были созданы германские легкие пулеметы Бергмана и Дрейзе, а также итальянские легкие пулеметы Фиат, Бриксиа и др. В СССР к числу пулеметов легкого типа относится пулемет Максима-Токарева, который, в отличие от станкового пулемета Максима, устанавливается на обыкновенную сошку, имеет воздушное охлаждение и приклад для упора в плечо. Вес пулемета Максима-Токарева вместе с сошкой — 13 *кг*.

Второй путь — установка обычного ручного пулемета на легкий станок треножного типа. На такого рода станок был поставлен английский ручной пулемет Льюиса, у которого приклад был заменен затыльником с ручками для управления огнем, пулемет Гочкиса и др.

Из изложенного следует, что легкие станковые пулеметы являются промежуточными между станковыми пулеметами тяжелого типа и ручными пулеметами. Превосходя по мощности обычные ручные пулеметы, легкие станковые пулеметы значительно уступают по мощности огня тяжелым станковым пулеметам, особенно при стрельбе на большие дальности, когда малая устойчивость станка легкого пулемета приводит к большому рассеиванию выстрелов. По той же причине стрельба из легкого пулемета поверх и в интервалы своих войск почти невозможна, а непрерывная стрельба из него длинными очередями, при системе охлаждения слабой интенсивности, может быть допущена только как исключение. По этим причинам легкие пулеметы не получили широкого распространения, а тяжелые станковые пулеметы продолжают оставаться основой боевого порядка пехоты в большинстве армий.

В итоге можно наметить следующие основные тактико-технические требования к станковым пулеметам:

1) Станковый пулемет „только в том случае сумеет выполнить свое назначение в бою, если не будет отставать от стрелковых подразделений, находясь в постоянной готовности поддержать их своим огнем" (БУП-38, ч. 1). Этим определяется общий вес системы, который не должен превышать 30—35 *кг*.

2) Калибр станкового пулемета 7 — 8 *мм*. Балистика пулемета должна обеспечивать достаточное могущество огня на дальности до 3 *км*.

3) Необходим универсальный станок, позволяющий ведение огня по наземным и воздушным целям. Вес станка, обеспечивающий достаточную меткость огня, должен быть не более 15—20 *кг*.

4) Необходимо наличие переменного темпа стрельбы: 600—700 выстрелов в минуту при стрельбе по наземным целям и 1 200—1 400 выстрелов в минуту при стрельбе по воздушным целям.

5) Практическая скорострельность 300—400 выстрелов в минуту. Охлаждение — воздушное. Для обеспечения данной скорострельности ствол должен быть сменным, а магазин — большой емкости (лента металлическая или холщевая, вмещающая не меньше 250 патронов).

6) Возможность стрельбы из пулемета всеми видами пуль специального назначения.

7) Пулемет должен быть надежным и безотказным в действии, простым по устройству, обслуживанию и обучению.

Авиационные пулеметы. С появлением военной авиации громадное значение получило автоматическое оружие для ее вооружения. Так возникли особые типы авиационных пулеметов, в которых требуется в первую очередь сочетать большую скорострельность с высокой надежностью и безотказностью действия. Развитие этой отрасли автоматического оружия началось в двадцатых годах текущего столетия и быстрыми темпами продолжается в наши дни.

Авиационные пулеметы существуют в нескольких разновидностях в зависимости от способа установки на самолете, а именно: 1) авиационные пулеметы т у р е л ь н ы е, устанавливаемые на подвижных относительно самолета установках; 2) авиационные пулеметы с и н х р о н н ы е, устанавливаемые неподвижно относительно самолета и из которых ведут огонь через плоскость, ометаемую винтом самолета; 3) авиационные пулеметы к р ы л ь е в ы е, также крепящиеся неподвижно. Наводка пулеметов последних двух типов производится изменением направления движения самолета.

Общими основными требованиями к авиационным пулеметам являются: а) высокий темп стрельбы; б) безусловная безотказность в работе. Оба эти требования вытекают из характера воздушного боя, отличаю-

щегося скоротечностью и малой вероятностью попадания в цель при стрельбе с самолета по самолету.

Авиационные пулеметы обычно изготовляются того же калибра, что и пехотные пулеметы. Балистические свойства их тоже одинаковы. В авиации применяются пулеметы и крупных калибров. Авиационные пулеметы должны обеспечить возможность применения специальных видов боеприпасов.

Танковые пулеметы. Танковые пулеметы представляют собой разновидность пехотных пулеметов, приспособленных к условиям ведения стрельбы из танка. Основные их особенности определяются ограниченностью места в танке как для самого оружия, так и для боеприпасов и условиями прицеливания. Поэтому существенное значение для таких пулеметов имеют уменьшение габарита автоматики и такое устройство системы питания патронами, которое требует минимального места. От пехотных пулеметов танковые пулеметы отличаются также прицельными приспособлениями. В остальном тип танкового пулемета близок к типу ручного пулемета.

Зенитные пулеметы. Зенитные пулеметы предназначаются для стрельбы по воздушным целям. Специальных конструкций зенитных пулеметов нет. Они отличаются от станковых пулеметов лишь устройством станка (установки) и введением зенитных прицелов. С целью увеличения могущества огня практикуется сочетание нескольких пулеметов на одной установке. Такие установки называются комплексными. В качестве зенитных применяют как пулеметы обычных стрелковых калибров, так и крупнокалиберные.

Крупнокалиберные пулеметы. Крупнокалиберные пулеметы (калибра от 11 до 14,5 *мм*) возникли сначала как зенитные и противотанковые средства борьбы, а затем и как авиационные. Материальная часть их по устройству мало отличается от пулеметов обычных стрелковых калибров за исключением веса и габарита. Кроме того, для стрельбы из них по быстродвижущимся целям (танкам и авиации) требуются универсальные станки, а также автоматические прицелы, учитывающие поправки на движение воздушных целей. Укрупнение калибра обычно сопровождается уменьшением скорострельности оружия.

Крупнокалиберные пулеметы встречаются двух типов: тяжелые и облегченные. Разница в весе в основном получается за счет станка, который в некоторых случаях утяжеляют в целях достижения большей устойчивости, а следовательно, и кучности боя. Тяжелые крупнокалиберные пулеметы применяются в качестве зенитных, а легкие — в качестве противотанковых и авиационных пулеметов.

Противотанковые ружья. Для борьбы с современными танками вследствие усиления их броневой защиты калибр порядка 12 *мм* оказался недостаточно мощным. С другой стороны, крупнокалиберные пулеметы вследствие большого веса обладают слабой маневренностью, что лишает их необходимых для борьбы с танками качеств. Отсюда возник новый вид самозарядного оружия калибра порядка 20 *мм* с достаточно мощной балистикой, на легкой подвижной установке, с малой высотой линии огня (для стрельбы лежа) с целью удобства маскировки. Были также попытки создания противотанковых ружей меньшего калибра (12—14,5 *мм*) и более легкого типа, чем предыдущий, т. е. более маневренного, за счет некоторого уменьшения дальности действительного огня. Этот вид оружия является самым молодым из всех видов автоматического оружия.

Автоматические пушки. Зарождение автоматического оружия началось с попыток создать автоматическое артиллерийское орудие (Бессемер, патент 1854 г. на способ автоматического перезаряжания артиллерийского орудия; Максим — работа 1883 г. по созданию автоматической пушки). Однако более полное развитие автоматика получила на образцах ружейных, и только начиная с XX столетия опыт конструкции авто-

матического оружия стали переносить и на более крупные калибры (40-*мм* автоматическая пушка Виккерса, 37-*мм* автоматическая пушка Мак-Клена). Ряд полуавтоматических и автоматических пушек появился уже после войны 1914—1918 гг. (автоматические пушки Мадсена, Гочкиса, Эрликон, Бофорса). В настоящее время автоматизированы артиллерийские орудия калибра 20—45 *мм*, предназначенные для различных целей (противотанковая, танковая, авиационная артиллерия).

Специфичность устройства артиллерийских снарядов по сравнению с боеприпасами стрелкового оружия, а также совершенно иное количественное значение неиспользованной энергии боевого заряда отразились на устройстве автоматики пушек, при конструировании которых приходится учитывать: а) стремление получить менее громоздкую автоматику, используя принципы автоматики, приводящие к меньшей длине; б) возможное увеличение практической скорострельности, применяя тип питания, позволяющий возможно быструю смену магазина или непрерывное питание; в) необходимость устройства противооткатных приспособлений, что отражается на конструкции автоматики; г) возможность применения в некоторых случаях механизмов автоматической установки трубки.

5. Подача патронов в автоматическом оружии

Для того чтобы очередной патрон был вложен в ствол, его необходимо предварительно привести в такое положение в оружии, чтобы механизмы перезаряжания могли выполнить свою работу. Эта операция в автоматическом оружии осуществляется механизмом подачи патронов, или механизмом питания.

Механизм подачи патронов является одним из наиболее ответственных механизмов автоматического оружия. Конструкция механизма подачи патронов предопределяет часто тип и устройство автоматики. Скорострельность автоматического оружия также сильно зависит от конструкции механизма подачи. Требования, предъявляемые к подаче:

1) своевременность подачи очередного патрона, которая достигается путем установления связи (синхронности) движения патрона с движением подвижной системы (ствола или затвора);

2) обеспечение стабильного положения патрона перед подачей его в патронник ствола;

3) независимость работы механизма подачи от положения оружия (стрельба при углах возвышения или склонения, стрельба в перевернутом положении оружия) или обеспечение так называемого принудительного движения патрона, при котором исключается возможность движения патрона на каком-либо участке подачи под действием силы тяжести;

4) безотказность работы механизма подачи в условиях загрязнения или густой смазки; возможно малая чувствительность его к неточностям обработки деталей и износу их;

5) возможно малый расход энергии на работу механизма подачи, особенно если это связано с расходом энергии подвижной системы;

6) плавность движения, т. е. отсутствие ударов и толчков в механизме подачи, что достигается созданием условий движения механизма при наименьших ускорениях;

7) достаточная прочность деталей механизма подачи.

Необходимыми элементами механизма подачи патронов являются: а) магазин (лента), в котором патроны размещаются в определенном порядке, и б) приспособление (ползун, барабан), служащее для транспортировки патронов в то положение, из которого они досылаются в патронник ствола механизмом перезаряжания.

По способу использования энергии, потребной на приведение в действие механизма подачи патронов, различают: а) механизмы подачи,

работающие за счет энергии подвижной системы; б) механизмы подачи, работающие за счет использования заранее аккумулированной энергии, например потенциальной энергии пружины, сжатой при снаряжении магазина патронами.

По конструктивному оформлению механизмы подачи патронов можно разделить на следующие виды.

1. Подача из коробчатого магазина. Механизм подачи (рис. 341) состоит из магазина *1*, наполненного патронами *2*, и пружины *4*. Магазин присоединяют к оружию снизу, сверху или сбоку. При движении затвора назад пружина *4* подает очередной патрон. При движении вперед затвор захватывает этот патрон и досылает его в патронник ствола. Таким образом, первый этап подачи патрона осуществляется за счет энергии сжатой при снаряжении магазина пружины, а второй этап (досылание патрона в патронник) — за счет энергии возвратной пружины.

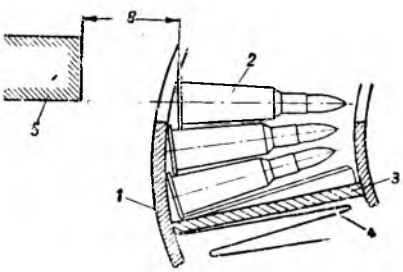


Рис. 341. Схема подачи из коробчатого магазина:

1 — магазин; *2* — патрон; *3* — подаватель; *4* — пружина; *5* — затвор

Коробчатые магазины могут быть отъемными, или сменными, и неотъемными. В последнем случае необходимо устройство магазина, обеспечивающее возможность снаряжения его патронами из обоймы. Внешне магазин при конусообразных патронах получается в виде кольцевого сектора. При патронах малой конусности и без выступающей закраины на гильзе коробчатый магазин обычно прямой.

Недостаток этого вида подачи — большая длина (высота) магазина, а при малой длине — малая емкость. Применяется коробчатая подача в пистолетах, автоматических винтовках, ручных пулеметах (Шоша, ZB-26, Шательро), авиационных пулеметах (турельных), а также в автоматических пушках (Эрликон, 20-*мм* пушка обр. 1930 г. и др.).

2. Подача из дискового магазина. Различают два типа дисковых магазинов:

1) Магазин типа пулемета Льюиса, состоящий из диска, снаряжаемого определенным числом патронов. Движение подвижной системы (затвора) при помощи специального привода вызывает поворот диска на угол, отвечающий подаче очередного патрона в приемник. С завершением поворота магазин застопоривается, и затвор досылает очередной патрон в патронник. Следовательно, подача патрона в этом случае осуществляется за счет энергии подвижной системы.

2) Магазин типа пулемета Дегтярева, в котором подача патрона в приемник осуществляется за счет энергии предварительно взведенной спиральной пружины, а досылание патрона в патронник ствола — за счет энергии возвратной пружины. Своевременность подачи патрона в приемник обеспечивается соответствующим подбором пружины магазина.

Недостаток этого вида подачи — ограниченная емкость магазина и невыгодные габариты его. Поэтому магазины иногда делают многорядными (пулемет Льюиса, пулеметы Дегтярева — танковый и авиационный). Кроме ручных пулеметов, подача этого вида применяется в пистолете-пулемете Томсона, в котором, помимо коробчатых магазинов, имеются дисковые магазины емкостью 50 и 100 патронов.

3. Ленточная подача. Механизм подачи в данном случае состоит из ленты, снаряжаемой определенным числом патронов, и специального привода, с помощью которого достигается связь движения ленты с движением подвижной системы. Ленты, применяемые в автоматическом оружии, подразделяют на жесткие и гибкие. Жесткие ленты изготовляют в виде тонкой стальной полосы, снабженной гнездами для помещения патронов (рис. 342). Гибкие ленты, чаще применяемые, бы-

вают матерчатые (рис. 343), изготовляемые из холста или хлопчатобумажной прочной ткани, и металлические звеньевые. Звеньевые ленты встречаются двух типов: а) с разъемными звеньями (рис. 344), которые соединяют в непрерывную ленту при помощи самых патронов, и б) неразъемные, в которых связь звеньев достигается при помощи специального шарнира и каждое звено имеет гнездо для патрона (рис. 345).

Гнезда для патронов также встречаются двух типов: а) замкнутые, в которые патрон вкладывается и извлекается движением по направлению его оси; б) незамкнутые, из которых патрон можно извлечь как по направлению его оси, так и в сторону. Расстояние между осями соседних собранных в ленте патронов называют шагом ленты. Достоинство металлической ленты по сравнению с матерчатой заключается в ее большей стойкости и негигроскопичности.

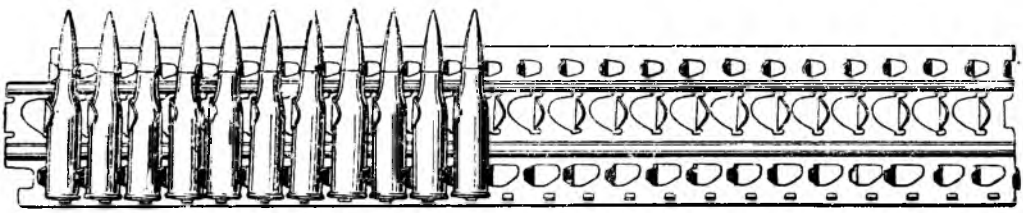


Рис. 342. Жесткая лента с полузамкнутыми гнездами

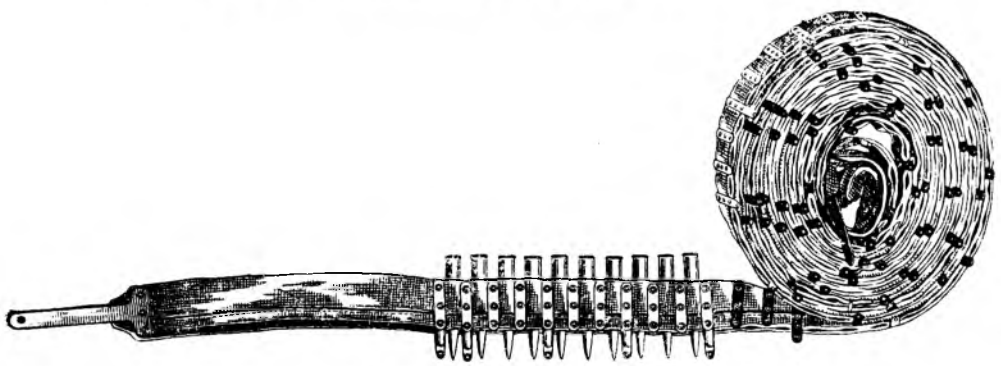


Рис. 343. Матерчатая лента

Движение ленты в оружии осуществляется, как правило, за счет энергии подвижной системы. Количество патронов, которое может при этом находиться в движении одновременно (длина свешивающегося конца ленты), ограничено. Поэтому при необходимости тянуть одновременно большое число патронов устраиваются специальные подтягивающие механизмы, чаще пружинные, которые подают ленту к пулемету.

Конструктивно перемещение ленты достигается при помощи вращающегося барабана (пулеметы Кольта, Гочкиса) или же при помощи полэуна (пулеметы Максима, Виккерса и др.), совершающего поперечное движение (относительно ствола).

Вопрос о времени подачи очередного патрона решается в зависимости от конструкции оружия и механизма подачи. В пулемет Максима, например, при движении подвижной системы назад подается в сторону (вправо) только ползун, который, захватив патрон, подает его в продольное окно приемника при возвращении ствола вперед. Своевременность подачи при этом обеспечивается за счет некоторого запаздывания при движении вперед замка по сравнению со стволом. В пулемете же Гочкиса подача патрона на полный шаг ленты производится за полный цикл движения автоматики.

Основное преимущество ленточной подачи — большая емкость ее при небольшом „мертвом весе", приходящемся на один патрон. При применении звеньевой ленты емкость подачи становится почти неограниченной. Поэтому ленточное питание называют также непрерывным питанием. Применяется ленточная подача в станковых (пулеметы Максима, Кольта, Шварцлозе и др.), крупнокалиберных (Дрейзе, Бергман, Кольт, Браунинг), зенитных и авиационных пулеметах, реже в автоматических пушках (40-*мм* пушка Виккерса).

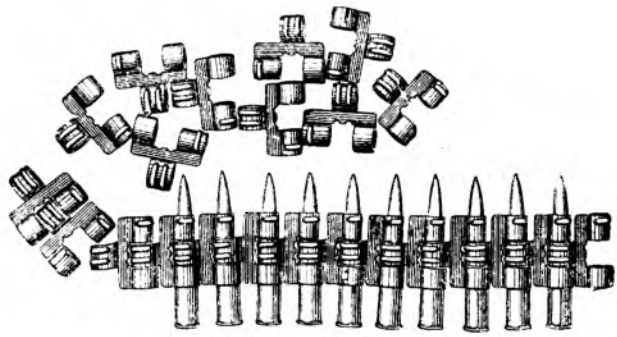


Рис. 344. Металлическая звеньевая лента (разъемная, с замкнутыми гнездами)

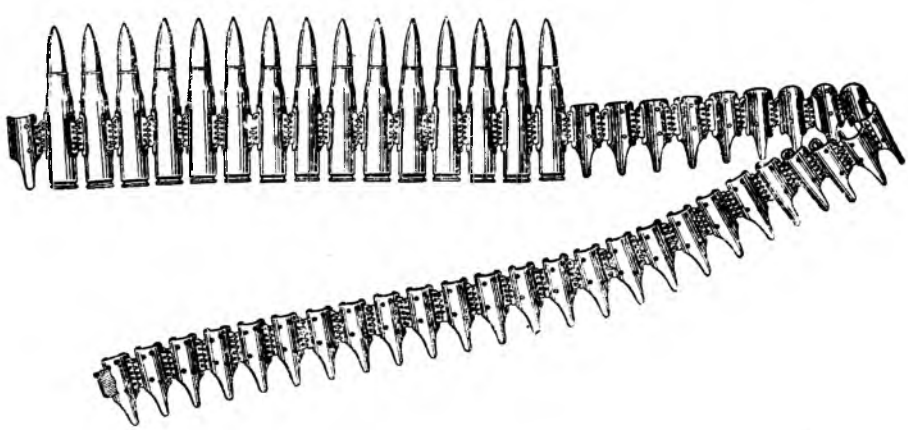


Рис. 345. Металлическая звеньевая лента (неразъемная, с полузамкнутыми гнездами)

Помимо рассмотренных видов подачи следует указать еще на подачу в японском ручном пулемете, в котором она осуществлена в виде магазина, укрепленного на левой стороне ствольной коробки. Магазин наполняют патронами в обоймах, из которых они подаются в приемник (за счет энергии подвижной системы). С подачей последнего патрона обойма автоматически выталкивается из магазина, и ее место занимает новая обойма с патронами. Емкость такого магазина значительно возрастает за счет возможности пополнения его во время перерыва огня без снятия магазина с пулемета. Подобного типа подача осуществлена также в итальянском пулемете Перино, в котором место магазина занимает ящик, куда вкладывают жесткие ленты с патронами. Пополнение магазина патронами в этом случае возможно без перерыва стрельбы.

Следует указать, кроме того, на наличие в некоторых системах автоматического оружия (зенитные и авиационные пулеметы) так называемого двустороннего питания, при котором за счет особого устройства привода возможна правая и левая подача ленты.

Для танковых и других пулеметов представляет интерес такое устройство механизма подачи, которое позволяет переход от ленточного питания к магазину и наоборот.

6. Пулеметные станки и установки. Их классификация

В соответствии с тактическим назначением и условиями боевого использования различают следующие виды станков и установок [1].

1) Полевые станки для автоматического оружия, состоящего на вооружении пехоты. Подвижность систем на таких станках должна быть в полном соответствии с подвижностью пехоты.

По характеру обстреливаемых целей полевые станки в свою очередь делятся на станки, предназначенные для стрельбы: а) по наземным целям; б) по воздушным целям; в) по наземным и воздушным целям (универсальные станки).

2) Относительно стационарные установки для оружия, которое устанавливается на различных подвижных объектах (танки, бронемашины, бронепоезда, автоплатформы, тачанки и пр.), относительно которых самые установки являются неподвижными. Подвижность таких установок определяется подвижностью самых объектов.

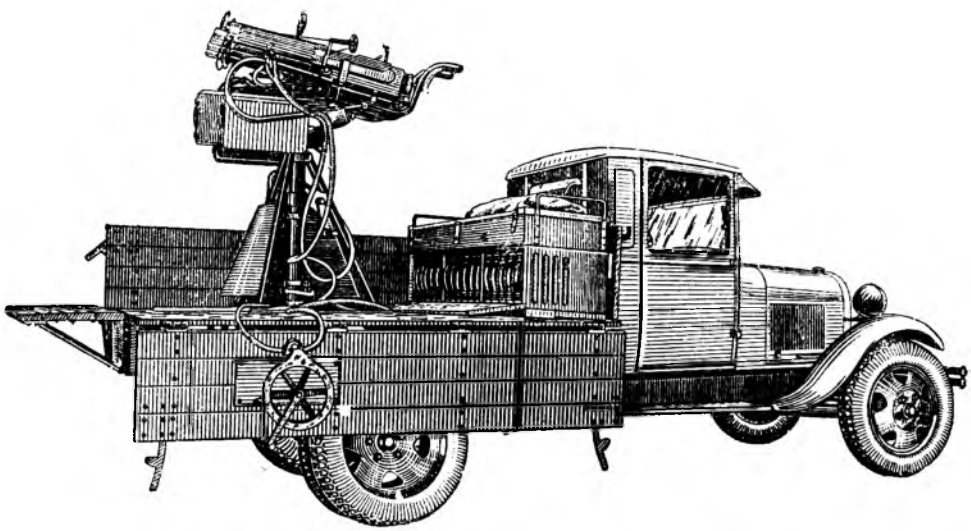


Рис. 346. Счетверенная зенитная установка под пулемет Максима

К относительно стационарным установкам относятся также установки на самолетах для авиационных пулеметов. Авиационные установки могут быть подвижными относительно самолета (турельные) и неподвижными (синхронные и крыльевые).

3) Стационарные установки — неподвижные, принятые для оружия, которое устанавливается заблаговременно в определенных местах (казематы, бронекупола в долговременных оборонительных сооружениях, установки для ПВО неподвижных объектов и т. п.).

В зависимости от количества пулеметов, которое может быть расположено на станке или установке, различают: а) однопулеметные станки или установки и б) многопулеметные, или комплексные (под два, три и более пулеметов), станки и установки.

На рис. 346 показана счетверенная зенитная установка под пулеметы Максима.

По конструктивному оформлению наиболее часто встречаются следующие типы станков и установок: а) треножные станки, являющиеся наиболее распространенными типами станков; применяются они для пулеметов Кольта, Браунинга, Шварцлозе, Гочкиса и др.; б) колесные станки, применяющиеся для станковых (пулемет Максима) и крупнока-

[1] В. А. Малиновский, Основания проектирования станков и установок, вып. I.

либерных пулеметов; в) колесно-треножные станки (пулемет Дрейзе, обр. 1908/15 г.); г) четырехножные станки; д) стоечные станки; е) тумбовые или конические установки; ж) турельные установки; з) шаровые установки, применяемые в танках, бронемашинах и др.

Любой станок должен обеспечивать совокупностью своих деталей и механизмов: а) устойчивость, требуемую для данного вида оружия; б) достаточную гибкость огня; в) необходимую точность стрельбы и г) удобство обслуживания оружия.

В соответствии с этим в современных станках имеются следующие детали и механизмы: а) вертлюг — часть станка, в которой непосредственно крепится оружие; основное назначение вертлюга — связь станка с оружием и обеспечение возможности вращения последнего в горизонтальной и вертикальной плоскостях для наводки пулемета в цель; б) остов — обычно неподвижная часть станка, служит опорой для вертлюга с оружием; в) механизм горизонтального наведения — служит для придания оси оружия определенного положения в горизонтальной плоскости; г) механизм вертикального наведения — служит для придания оси оружия определенного положения в вертикальной плоскости (рис. 347).

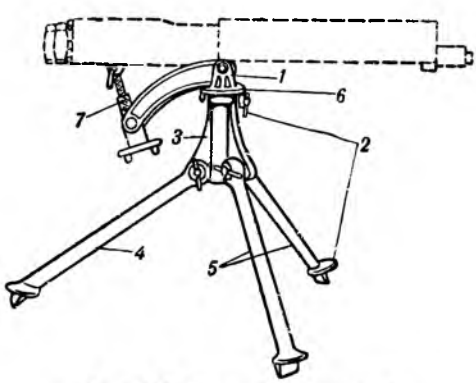


Рис. 347. Тренога Виккерса:

1 — вертлюг; *2* — остов; *3* — основание остова; *4* — стрела; *5* — ноги; *6* — механизм горизонтального наведения; *7* — механизм вертикального наведения

Кроме того, в некоторых конструкциях станков встречаются: а) ограничители рассеивания (вертикального и горизонтального); б) приспособления для крепления прицелов (оптических, зенитных, танковых и др.); в) уравновешивающие механизмы; г) амортизаторы, поглощающие удары при откате и накате; д) щиты и их крепления; е) сиденья, подножки, подлокотники и наплечники; ж) детали и устройства для транспортирования станков и другие механизмы.

ГЛАВА II

МАТЕРИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

1. Винтовка обр. 1891/30 г.

В 1891 г. на вооружение русской армии была принята 3-линейная винтовка.

Конструкция этой винтовки в основе своей была разработана русским изобретателем Мосиным, но так как при ее испытании в конструкцию был внесен ряд изменений, то было решено дать принятому на вооружение образцу наименование: „3-линейная винтовка обр. 1891 г."

Конструкция принятой винтовки оказалась настолько совершенной, что она, если не считать изменения прицела, произведенного в связи с принятием на вооружение армии патрона с остроконечной пулей обр. 1908 г., просуществовала без сколько-нибудь серьезных изменений до 1930 г.

В 1930 г., в результате учета опыта последних войн и ряда дополнительных полигонных и войсковых испытаний, винтовка обр. 1891 г. претерпела ряд изменений: ступенчато-рамочный прицел был заменен секторным, треугольная прорезь прицела заменена прорезью полукруглой, треугольная мушка — прямоугольной, введен предохранитель мушки, изменено крепление штыка на стволе винтовки (вместо штыкового хому-

тика принята пружинная защелка), изменены ложевые кольца и внесен ряд других изменений. В соответствии с этим винтовка получила новое наименование: „7,62-*мм* винтовка обр. 1891/30 г." (рис. 348).

В результате проведенной модернизации винтовка обр. 1891/30 г. стала одной из наиболее совершенных винтовок по кучности и стабильности боя. Она проста по устройству и в обращении, прочна и безот-

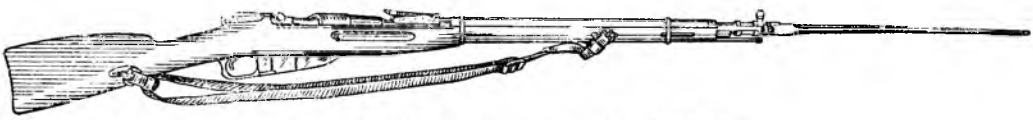


Рис. 348. 7,62-*мм* винтовка обр. 1891/30 г.

казна в работе, всегда готова к немедленному действию. Она является основным оружием бойца для поражения противника огнем, штыком и прикладом.

Прицельная дальность винтовки — 2000 *м*. Наилучшие результаты стрельбы из винтовки получаются на расстояниях до 400 *м*. Огонь группы стрелков по штурмующим самолетам действителен до 500 *м*. Из винтовки, снабженной оптическим прицелом, снайперы поражают цели на расстояниях до 800 *м*.

2. Револьвер обр. 1895 г.

Револьвер обр. 1895 г. системы Наган (рис. 349) предназначается для нападения и защиты на близких расстояниях и в рукопашной схватке.

Положительные свойства револьвера обр. 1895 г.: а) хорошие балистические качества его, меткость при стрельбе; б) простота конструкции достаточная прочность и надежность в действии; в) постоянная готовность к производству выстрела.

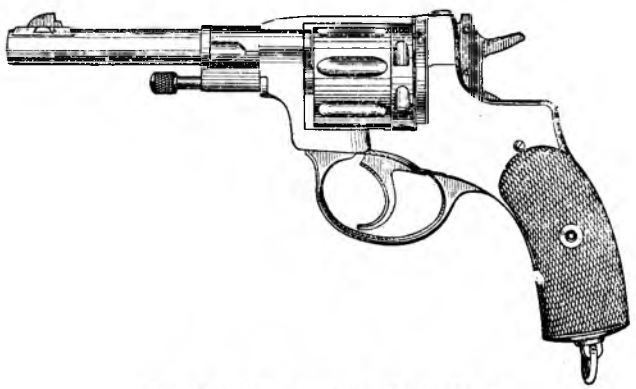


Рис. 349. Револьвер обр. 1895 г.

Недостатки револьвера обр. 1895 г.: а) трудность перезаряжания револьвера (в смысле наполнения барабана новыми патронами); б) несколько неудобная форма револьвера (выступающий барабан).

Несмотря на эти недостатки, револьвер обр. 1895 г., как вполне надежное и проверенное боевым опытом оружие состоит на вооружении Красной Армии и пользуется заслуженным доверием бойцов и командиров.

3. Пистолет обр. 1930 г.

Пистолет обр. 1930 г. системы Токарева (рис. 350), как и револьвер обр. 1895 г., служит для нападения и защиты на близком расстоянии и в рукопашной схватке.

Пистолет обр. 1930 г. — курковый, принадлежащий к типу пистолетов с двигающимся назад (качающимся) стволом. Затвор пистолета представляет одно целое с кожухом. Тем самым достигнуто увеличение массы затвора и уменьшение скорости отдачи при сравнительно мощном патроне. Ствол соединяется с кожухом при помощи серьги. Сцепление ствола с затвором при выстреле осуществляется помощью боевых выступов (рис. 351).

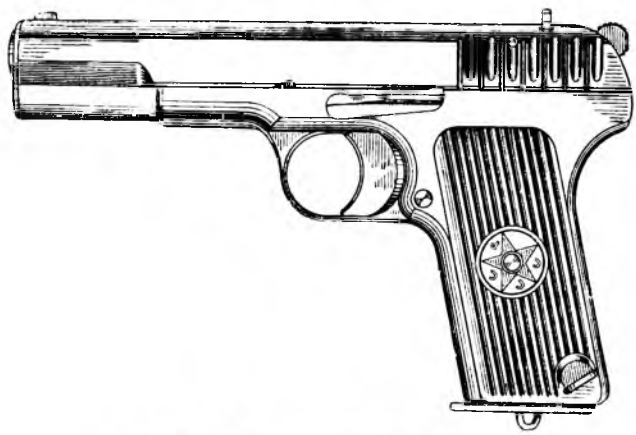


Рис. 350. Пистолет обр. 1930 г.

При выстреле в результате отдачи ствол с затвором отходит назад. Серьга, вращаясь на оси, отводит задний конец ствола вниз. При опускании ствола вниз боевые выступы его выходят из сцепления с затвором. Затвор, двигаясь по инерции назад, производит экстракцию стреляной гильзы и взводит курок. Движение затвора вперед осуществляется при помощи возвратной пружины. При этом затвор досылает из магазина очередной патрон в патронник ствола

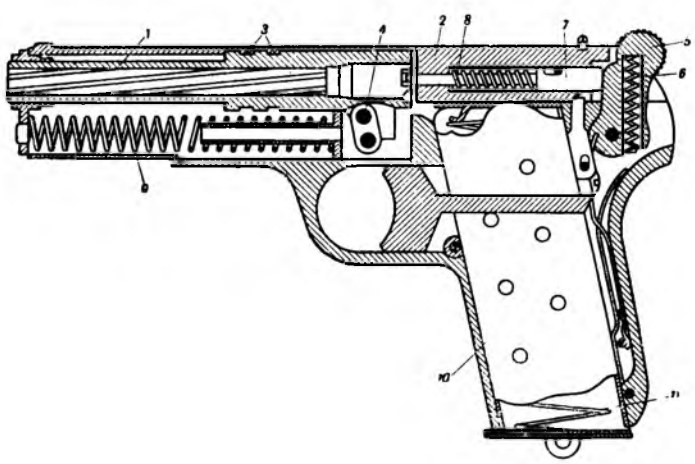


Рис. 351. Пистолет обр. 1930 г. (продольный разрез):

1 — ствол; *2* — затвор; *3* — боевые выступы ствола и затвора; *4* — серьга; *5* — курок; *6* — боевая пружина; *7* — ударник; *8* — пружина ударника; *9* — возвратная пружина; *10* — магазин; *11* — пружина магазина

Положительные свойства пистолета обр. 1930 г.: а) хорошие балистические качества — по меткости стрельбы он не уступает револьверу обр. 1895 г., а по пробивной способности превосходит его: б) возможность быстрой смены магазина (перезаряжания пистолета); в) постоянная готовность к производству выстрела.

Существенный недостаток пистолета обр. 1930 г. — сложность устройства, вследствие чего при стрельбе появляются задержки, понижающие его боевую ценность.

4. Ручной пулемет ДП

Боевые свойства и назначение ручного пулемета. Ручной пулемет ДП (рис. 352) предназначается для уничтожения открытых групповых и важных одиночных живых целей на дистанциях до 800 *м*, для поражения штурмующих самолетов на дистанциях до 500 *м*, а также для поддержки танков путем поражения обслуживающего персонала противотанковых средств противника.

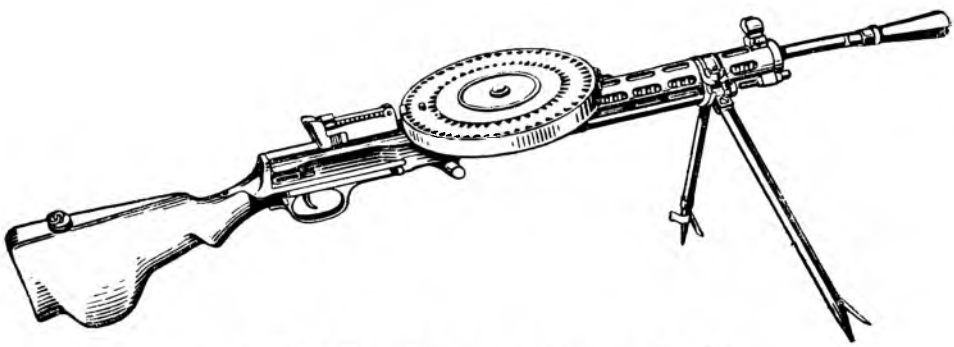


Рис. 352. Общий вид ручного пулемета ДП

Огонь из ручного пулемета ведется короткими очередями в 3—6 выстрелов. В исключительных случаях возможно также ведение непрерывного огня из пулемета вплоть до израсходования всего магазина. Прицельная дальность стрельбы — 1500 *м*.

Принцип устройства — отвод газов с поступательным движением поршня назад. Система запирания осуществлена при помощи боевых упоров, вращающихся в горизонтальной плоскости. Охлаждение ствола — воздушное, ствол — сменный.

Ручной пулемет ДП прост по устройству. При правильном обращении и внимательном уходе и сбережении он является надежным и безотказным в действии оружием.

В бою пулемет обслуживают наводчик и помощник наводчика.

Устройство пулемета (рис. 353 и 354). Внутреннее устройство ствола (рис. 353) ручного пулемета аналогично устройству ствола винтовки обр. 1891/30 г., так как стрельба из них производится одним и тем же

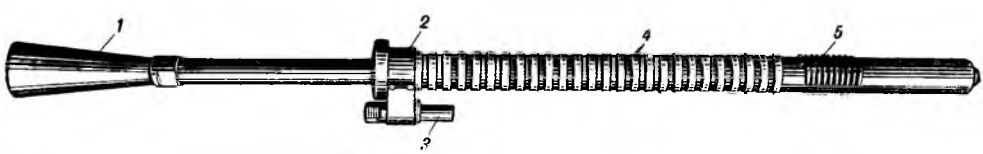


Рис. 354. Ствол:

1 — пламегаситель; *2* — газовая камора; *3* — регулятор; *4* — ребристая поверхность; *5* — прерывчатые винтовые выступы

патроном. Длина нарезной части ствола ручного пулемета несколько меньше длины нарезной части ствола винтовки[1].

[1] Длина нарезной части ствола ручного пулемета — 532 *мм*, длина нарезной части винтовки — 675 *мм*. Вследствие этого начальная скорость пули при стрельбе из ручного пулемета — 840 *м/сек*, а при стрельбе из винтовки — 865 *м/сек*.

Снаружи дульный конец ствола имеет винтовую нарезку для навинчивания пламегасителя. Спереди снизу в стволе имеется отверстие для отвода части пороховых газов при выстреле. Отверстие это прикрыто снаружи навинтованной и закрепленной на стволе газовой каморой.

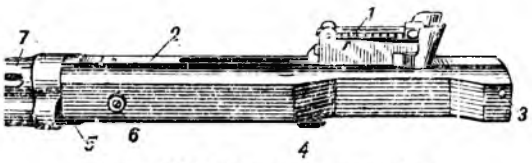


Рис. 355. Ствольная коробка:

1 — прицел (в собранном виде); *2* — щитик; *3* — отверстие для соединительного винта; *4* — крючкообразные выступы; *5* — прилив для соединительной муфты; *6* — замыкатель ствола; *7* — кожух, соединенный со ствольной коробкой

Средняя часть ствола имела раньше ребристую поверхность с целью увеличения площади охлаждения. Ввиду небольшого эффекта, который при этом достигался в смысле увеличения скорости охлаждения, а также в интересах упрощения технологического процесса, с 1938 г. ствол изготовляется с гладкой цилиндрической поверхностью.

В казенной части ствола имеются винтовые выступы, служащие для соединения ствола со ствольной коробкой.

Ствольная коробка (рис. 355) служит для соединения частей системы. Она имеет в передней части пенек с винтовой нарезкой для соединения с кожухом и канал с винтовой нарезкой для соединения со стволом, в средней же части имеются боевые уступы (внутри), которые служат опорой для боевых упоров затвора при выстреле, и крючкообразные выступы (снизу) для закругленных выступов спусковой рамы. Сзади коробка имеет вертикальные пазы для соединения со спусковой рамой, а внутри — продольные пазы для движения затворной рамы и затвора.

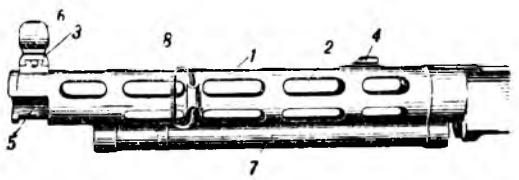


Рис. 356. Кожух:

1 — кожух; *2* — продольные прорези; *3* — основание предохранителя мушки; *4* — упор магазина; *5* — вырез для газовой каморы; *6* — предохранитель мушки; *7* — направляющая трубка; *8* — антабка

Соединение ствольной коробки со стволом разъемное и позволяет быстрое отделение и смену ствола. Для фиксации ствола в определенном положении относительно ствольной коробки служит замыкатель, для зуба которого в казенной части ствола имеется вырез.

Ствольную коробку со спусковой рамой в собранном виде закрепляют соединительным винтом.

Кожух (рис. 356) предохраняет ствол от ударов, а стрелка — от ожогов при стрельбе. Кожух навинчивается на ствольную коробку наглухо. Продольные прорези на кожухе сделаны для облегчения его веса и в целях обеспечения доступа воздуха к стволу для его охлаждения. Внизу к кожуху приварена трубка, которая направляет движение газового поршня со стержнем и предохраняет возвратную пружину.

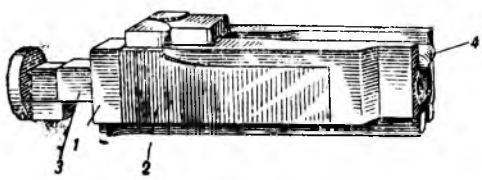


Рис. 357. Затвор:

1 — остов затвора; *2* — боевые упоры; *3* — ударник; *4* — выбрасыватель

Затвор (рис. 357) служит для досылания патрона в патронник, запирания канала ствола при выстреле, производства выстрела и извлечения гильз (патронов) из патронника.

В затвор входят следующие части:

а) остов затвора, соединяющий все части затвора;

б) ударник с бойком, служащий для разбивания капсюля; ударник помещается во внутреннем канале остова затвора; сзади ударник имеет головку и боковые вырезы для соединения с затворной рамой;

в) боевые упоры, помещающиеся в боковых выемах остова затвора и служащие для сцепления затвора со ствольной коробкой во время выстрела;

г) выбрасыватель, служащий для извлечения гильз или патронов из патронника.

Затворная рама (рис. 358) соединяет все подвижные части пулемета. Передним своим концом рама соединена со стержнем (штоком),

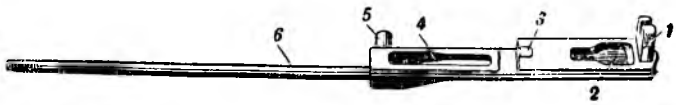


Рис. 358. Затворная рама:

1 — стойка с вырезом для ударника; *2* — выем для боевых упоров и остова затвора; *3* — направляющий выступ; *4* — окно для прохода гильзы или патрона; *5* — рукоятка; *6* — стержень

на который навинчивается газовый поршень. Сзади сверху затворная рама имеет стойку с вырезом для ударника и фигурный выем, в который входят выступы боевых упоров и выступ остова затвора. Фигурный выем суживается вперед, что обеспечивает сведение боевых упоров

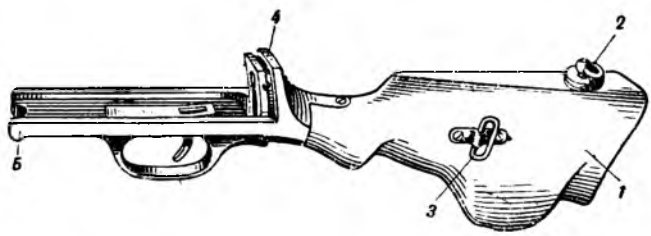


Рис. 359. Спусковая рама с прикладом:

1 — приклад; *2* — масленка; *3* — антабка; *4*—стойка с вертикальными пазами; *5* — закругленные выступы для соединения со ствольной коробкой; *6* — спусковая скоба

в момент отпирания. Сзади снизу рама имеет паз, задняя стенка которого служит боевым взводом. Справа и слева рама имеет выступы, которые входят в направляющие пазы ствольной коробки.

Возвратная пружина надевается на стержень. Передний конец ее упирается в задний обрез газового поршня, а задний — в соединительную муфту, которая при стрельбе остается неподвижной. При выстреле, когда подвижная система отходит назад, пружина сжимается. Накопленная ею при этом энергия используется затем для возврата подвижной системы в переднее положение.

Так как ударник в пулемете ДП связан непосредственно с затворной рамой и работает за счет энергии возвратной пружины, последняя называется часто возвратно-боевой пружиной.

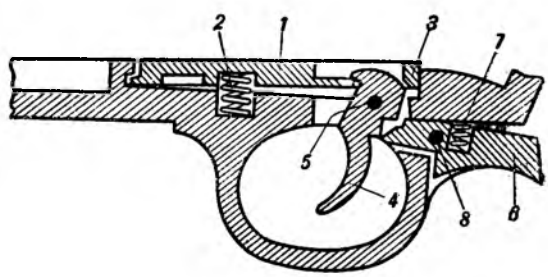


Рис. 360. Спусковой механизм:

1 — спусковой рычаг; *2* — пружина рычага; *3* — шептало; *4* — спусковой крючок; *5* — ось спускового крючка; *6* — предохранитель; *7* — пружина предохранителя; *8* — ось предохранителя

Спусковая рама (рис. 359) служит для помещения спускового механизма. Она имеет стойку с вертикальными пазами для соединения со ствольной коробкой и с отверстием для прохода соединительного винта. К спусковой раме прикреплен приклад.

Спусковой механизм (рис. 360) состоит из спускового рычага с пружиной, спускового крючка и предохранителя с пружиной. Освобо-

ждение спускового крючка от предохранителя производится одновременно с охватом шейки приклада рукой стрелка при прицеливании.

Спусковой механизм пулемета ДП позволяет вести только автоматический огонь.

Прицельное приспособление — открытого типа и состоит из прицела, укрепленного на верхней площадке ствольной коробки, и мушки, которая располагается в передней верхней части кожуха.

Магазин состоит из двух дисков, соединенных между собой.

Пружина магазина (спиральная) внутренним своим концом соединена с неподвижной втулкой нижнего диска, а наружным — со стойкой верхнего диска. Во время стрельбы усилием пружины вращается верхний диск, чем обеспечивается своевременная подача патронов к окну приемника.

Положение деталей и механизмов пулемета до заряжания (рис. 353). Подвижная система пулемета до заряжания находится в крайнем переднем положении. Передний срез затвора упирается в пенек ствола. Затворная рама своей стойкой, несущей ударник, плотно прижата к заднему обрезу остова затвора, чем ограничивается движение рамы вперед. Утолщенная часть ударника разводит задние концы боевых упоров в стороны. Опорные плоскости боевых упоров заходят за боевые уступы ствольной коробки, и затвор прочно запирает патронник (рис. 361). Затворная рама относительно затвора продвинута вперед так, что между нижним выступом остова затвора и передней стенкой фигурного выема рамы остается расстояние в 12—13 *мм* (величина свободного хода рамы). Газовый поршень своим раструбом надвинут на патрубок. Между передним срезом газового поршня и газовой каморой, а также между дном газового поршня и торцом патрубка имеется небольшой зазор, предохраняющий газовый поршень от ударов о патрубок.

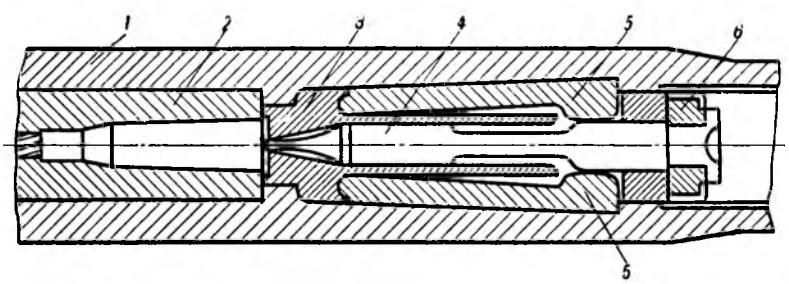


Рис. 361. Схема запирания пулемета ДП:

1 — ствольная коробка; *2* — ствол; *3* — затвор; *4* — ударник; *5* — боевые упоры; *6* — стойка затворной рамы

Возвратная пружина находится в состоянии наименьшего сжатия (около 2,5 *кг*). Отражатель находится в крайнем верхнем положении; пружина его сжата и имеет наибольшее напряжение. Спусковой рычаг приподнят кверху. Хвост спускового крючка отведен вперед и упирается в предохранитель. Задний конец предохранителя пружиной отжат вниз. Окно ствольной коробки закрыто щитиком.

Работа деталей и механизмов пулемета при заряжании. Для заряжания пулемета нужно: 1) сдвинув щитик вперед, открыть окно ствольной коробки; 2) отвести рукоятку назад доотказа; 3) установить магазин.

При отводе рукоятки назад газовый поршень сжимает на стержне возвратную пружину, задний конец которой упирается в соединительную муфту. Затворная рама, отходя назад, отводит ударник. На пути около 8 *мм* утолщенная часть ударника выходит из затвора и освобождает боевые упоры. При дальнейшем движении скосы фигурного выема затворной рамы выводят боевые упоры из уступов ствольной коробки. На пути рамы около 12 *мм* затвор освобождается от сцепления со

ствольной коробкой. К этому времени передняя стенка фигурного выема рамы касается нижнего выступа остова затвора, и затвор начинает отходить назад вместе с затворной рамой.

Под давлением отходящей назад затворной рамы спусковой рычаг опускается вниз. Когда же рама дойдет до крайнего заднего положения, спусковой рычаг под действием своей пружины поднимается вверх, и шептало заскакивает за боевой взвод рамы.

При положении затворной рамы на боевом взводе (рис. 362) затвор относительно рамы сдвинут вперед, боевые упоры сведены, возвратная пружина сжата (усилие сжатия — около 11 *кг*).

При постановке магазина патрон, находящийся в окне приемника, становится впереди досылателя затвора (расстояние от досылателя затвора до заднего среза патрона около 49 *мм*). Пулемет заряжен для автоматической стрельбы.

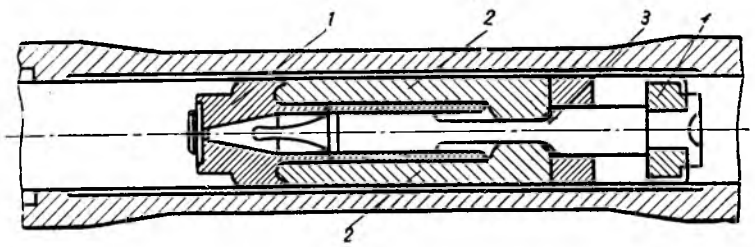


Рис. 362. Затвор, ударник и затворная рама в заднем положении (затворная рама на боевом взводе):

1 — затвор; *2* — боевые упоры; *3* — ударник; *4* — стойка затворной рамы

Работа деталей и механизмов пулемета при стрельбе. Для открытия огня нужно, обхватив рукой шейку приклада, прижать предохранитель вверх и нажать на спусковой крючок. При этом предохранитель освобождает спусковой крючок, а последний, вращаясь на своей оси, нажимает на спусковой рычаг и выводит его шептало из-под боевого взвода затворной рамы.

Под действием возвратной пружины затворная рама вместе с ударником начинает движение вперед. Ударник, упираясь своей утолщенной частью в выступы боевых упоров, двигает вперед затвор. При этом досылатель выталкивает очередной патрон из приемника магазина и посылает его в патронник. Затвор останавливается, когда передняя плоскость его упрется в пенек ствола. К этому времени патрон окончательно входит в патронник, зацеп выбрасывателя заскакивает за закраину гильзы, а боевые упоры становятся против соответствующих вырезов ствольной коробки.

При дальнейшем движении затворной рамы ударник своей утолщенной частью раздвигает боевые упоры, опорные плоскости которых входят в боевые уступы ствольной коробки, отчего канал ствола прочно запирается затвором.

После сцепления затвора со ствольной коробкой затворная рама вместе с ударником продолжает двигаться вперед (на пути около 8 *мм*), и только после этого боек ударника разбивает капсюль и следует выстрел. Тем самым исключается возможность преждевременного выстрела при незапертом затворе.

При выстреле, когда пуля проходит газовое отверстие ствола, часть пороховых газов, следующих за пулей, устремляется через газовое отверстие ствола в газовую камору, затем через отверстие регулятора ударяет в газовый поршень и отводит его, а вместе с ним стержень и затворную раму, назад.

С началом движения затворной рамы назад затвор остается на месте, продолжая запирать ствол и не допуская прорыва газов в ствольную

коробку. На пути рамы около 12 *мм*, когда пуля покидает канал ствола, происходит отпирание затвора. К этому моменту затворная рама имеет за счет воздействия пороховых газов энергию, достаточную для отпирания затвора, сжатия возвратной пружины, преодоления сил трения и др. (скорость рамы к моменту отпирания затвора, с учетом скорости отскока ее при ударе о затвор, достигает 9 *м/сек*).

Дальнейшее движение затворная рама совершает вместе с затвором. При этом зацеп выбрасывателя извлекает из патронника стреляную гильзу; последняя, натолкнувшись закраиной на отражатель, выбрасывается через нижнее окно ствольной коробки.

На расстоянии примерно 143 *мм* (от начала движения) движение подвижной системы назад ограничивается ударом затворной рамы о спусковую раму (скорость удара около 2—3 *м/сек*). В результате отскока после удара, а также под влиянием возвратной пружины подвижная система возвращается вперед, и производится следующий выстрел. Автоматическая стрельба продолжается до тех пор, пока нажат спусковой крючок, а в магазине имеются патроны.

По прекращении нажатия на спусковой крючок боевой взвод затворной рамы заскакивает за шептало, рама останавливается в заднем положении, но пулемет остается заряженным.

Для разряжания пулемета достаточно оттянуть защелку магазина назад и снять магазин. После этого нажатием на спусковой крючок подвижная система досылается в переднее положение.

5. Танковый пулемет ДТ

Танковый пулемет ДТ (рис. 363) представляет собой тот же ручной пулемет ДП, но видоизмененный в соответствии с требованиями к вооружению танков и бронемашин.

Калибр и все основные размеры ствола пулемета ДТ те же, что и в ручном пулемете. Разница состоит лишь в дополнительной обточке кольцевых поясков (ребер) ствола для надевания газовой каморы.

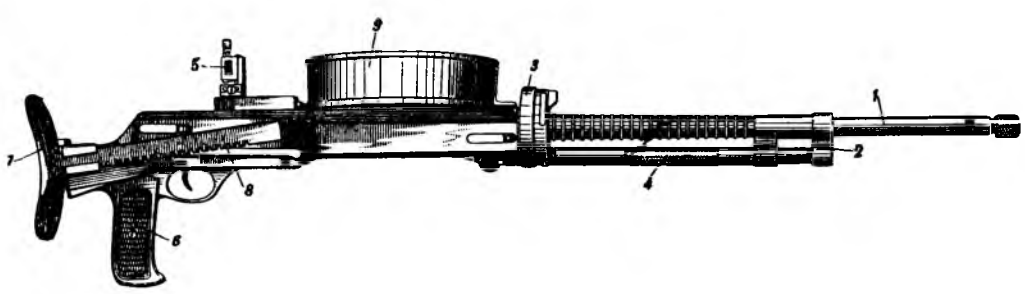


Рис. 363. Общий вид пулемета ДТ:

1 — ствол; *2* — газовая камора; *3* — планшайба; *4* — направляющая трубка; *5* — прицел; *6* — рукоятка; *7* — плечевой упор; *8* — рейка; *9* — магазин

Газовая камора имеет вид цилиндрической муфты, навернутой на ствол. Снизу газовая камора имеет два прилива: передний — для регулятора, задний — служит упором для переднего конца направляющей трубки поршня.

Вместо кожуха на передний конец ствольной коробки пулемета ДТ навинчивается планшайба, которая служит для крепления пулемета в шаровой установке танка или бронемашины. В связи с этим изменена и направляющая трубка: передний конец ее входит в отверстие заднего прилива газовой каморы, а задний конец при помощи двух выступов соединяется со ствольной коробкой. Кроме своего основного назначения, направляющая трубка в пулемете ДТ служит неподвижным упором для

заднего конца возвратной пружины, для чего внутри трубки (сзади) есть выступ. В соответствии с этим в пулемете ДТ упразднена соединительная муфта.

Спусковая рама и спусковой механизм имеют следующие изменения (рис. 364). В передней части рамы внизу сделан паз для крепления гильзоуловителя. Предохранитель спускового механизма осуществлен в виде чеки с полусрезанной осью, которая проходит под спусковым рычагом

Рис. 364. Спусковая рама с плечевым упором:

1 — предохранитель спускового механизма; *2* — рукоятка; *3* — плечевой упор; *4* — рейка; *5* — направляющие для движения рейки; *6* — защелка

и удерживается в положении „огонь" или „предохранитель" специальной пружиной. В гнездо, которое разделано в ручном пулемете для предохранителя, вставляется основание рукоятки, по бокам которой укреплены щечки (из дерева).

Приклад в пулемете ДТ осуществлен в виде плечевого упора, который при помощи двух реек соединяется со спусковой рамой. Для удобства действия рейки сделаны подвижными. Для закрепления реек в определенном положении имеется защелка с пружиной.

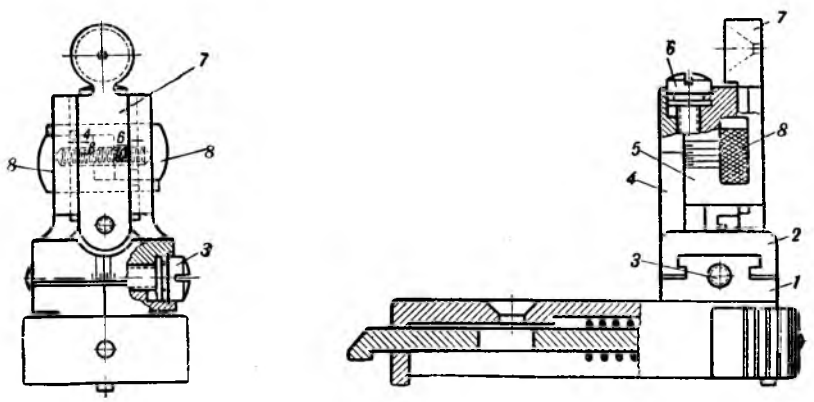


Рис. 365. Прицел:

1 — основание прицела; *2* — горизонтальный движок; *3* — винт для перемещения горизонтального движка; *4* — стойка горизонтального движка; *5* — вертикальный движок; *6* — винт вертикального движка; *7* — диоптр; *8* — защелки диоптра

Прицел в пулемете ДТ — диоптрический (рис. 365). Он состоит из основания прицела и двух движков — горизонтального и вертикального. Горизонтальный движок через пазы соединяется с основанием прицела. В стойке горизонтального движка, как в направляющих, укрепляют вертикальный движок, который имеет диоптр, закрепленный защелками. Защелки диоптра допускают установку прицела на дальность 400, 600, 800 и 1 000 *м*.

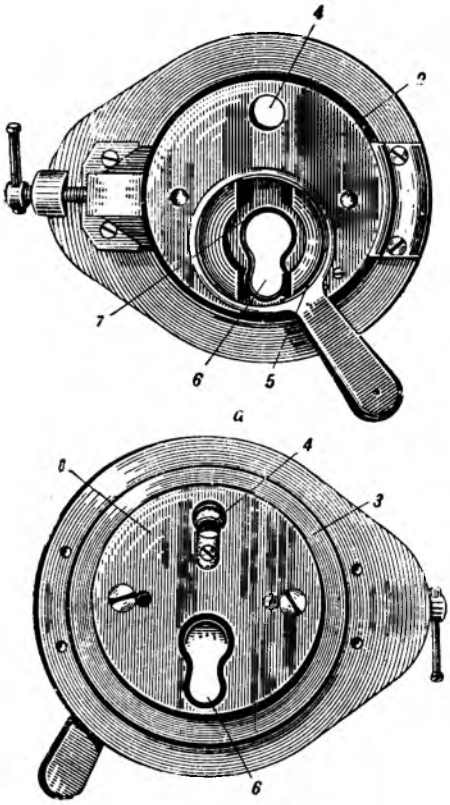


Рис. 366. Шаровая установка:

а — вид сзади; *б* — вид спереди;
1 — передний диск; *2* — задний диск; *3* — шаровое кольцо; *4* — отверстие для прицеливания; *5* — зажимное кольцо; *6* — отверстие для прохода ствола с газовой каморой; *7* — гнездо для планшайбы

Внутри основания прицела помещают магазинную защелку.

Мушку укрепляют в переднем диске шаровой установки пулемета.

Магазин пулемета ДТ вмещает 63 патрона, которые располагаются в нем в три ряда.

Устройство шаровой установки. Шаровая установка служит для крепления пулемета в гнезде танка или бронемашины и для придания пулемету различных положений в вертикальной и горизонтальной плоскостях при стрельбе.

Установка состоит из двух дисков (переднего и заднего) и шарового кольца (рис. 366). Все три части соединены в одно целое двумя болтами. Передний и задний диски имеют по два отверстия: верхнее — для прицеливания и нижнее — для ствола с газовой каморой. В отверстии для прицеливания переднего диска винтом укрепляют мушку. Задний диск имеет гнездо для клинообразных выступов планшайбы и кольцевую выточку с резьбой для зажимного кольца. Зажимное кольцо снаружи имеет нарезку для соединения с гнездом для планшайбы. На внутренней поверхности зажимного кольца имеются три выступа, которые служат для запирания планшайбы в шаровой установке.

6. Станковый пулемет системы Максима обр. 1910 г.

Боевые свойства и назначение станкового пулемета. Станковый пулемет Максима (рис. 367) принадлежит к числу систем автоматического оружия, действие которых основано на принципе использования отдачи, с коротким ходом ствола.

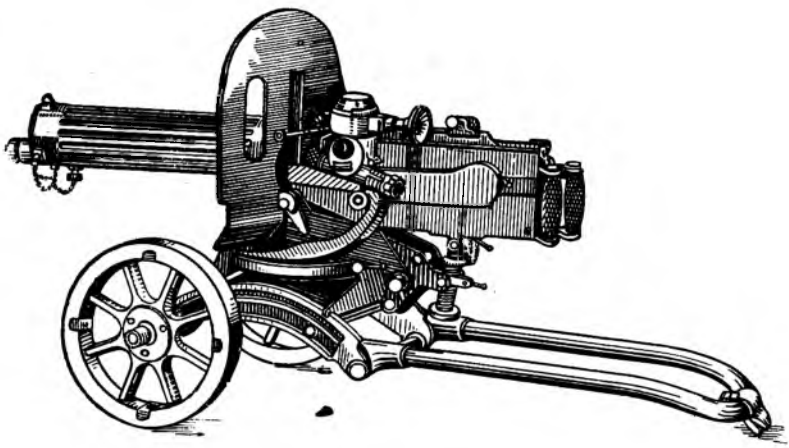


Рис. 367. Общий вид станкового пулемета на станке Соколова с оптическим прицелом

Станковый пулемет применяется для поражения открытых и находящихся за небольшими складками местности групповых живых целей и огневых средств противника на расстояниях до 1 000 *м*, а в составе пулеметных соединений (группа пулеметов) — до 3 000 *м*. Для стрельбы по самолетам станковые пулеметы на специальных установках и с зенитными прицелами применяются на расстояниях до 1 500 *м*. Стрельба из станкового пулемета ведется непрерывным автоматическим огнем или очередями автоматического огня по 10—30 выстрелов каждая.

Стрельба из пулемета ведется пулей обр. 1908 г., пулей обр. 1930 г., а также пулями специального назначения. Начальная скорость пули обр. 1908 г. — 860 *м/сек*, пули обр. 1930 г. — 800 *м/сек*. При стрельбе пулемет питается патронами, вставленными в ленты по 250 патронов в каждой. Подача ленты с патронами в пулемете осуществляется за счет расхода кинетической энергии подвижной системы.

Охлаждение пулемета — водяное. Объем жидкости, входящей в кожух, — около 4,5 *л*.

На походе и в бою станковый пулемет обслуживается группой бойцов в 5—7 человек, образующих во главе с командиром пулеметное отделение.

Устройство станкового пулемета. Ствол (рис. 368). Внутреннее устройство ствола такое же, как и у винтовки обр. 1891/30 г. Снаружи концы ствола утолщены: передний — для увеличения поверхности, на которую газы при вылете пули из канала ствола оказывают давление, сообщая стволу дополнительный импульс при движении его назад; задний — для увеличения прочности.

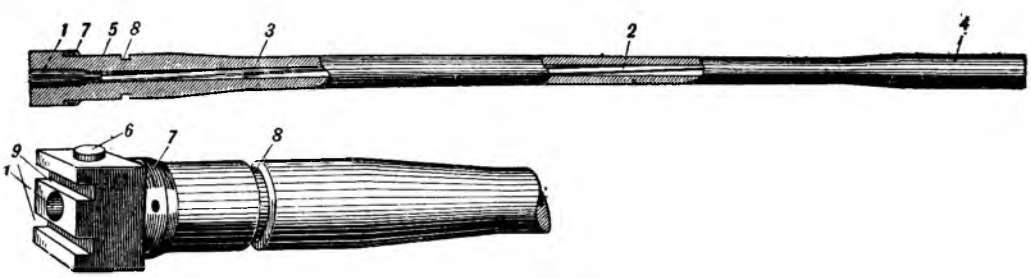


Рис. 368. Ствол:

1 — патронник; *2* — нарезы; *3* — поле нареза; *4* — переднее утолщение ствола; *5* — заднее утолщение ствола; *6* — цапфы для соединения ствола с рамой; *7* — бронзовая гайка; *8* — кольцевой желобок для заднего сальника; *9* — пазы для прохода загибов боевой личинки

Рама с мотылем, шатуном, рукояткой, барабаном и цепочкой (рис. 369) служит для соединения подвижных частей пулемета. Рама состоит из двух станин: правой и левой. На концах станин имеются отверстия: передние — для соединения со стволом, задние — для оси мотыля.

Мотыль осью соединен с рамой, а при помощи передних отверстий — с шатуном. Последний имеет на переднем конце головку с тремя выступами для соединения с замком. Мотыль вместе с шатуном обеспечивает передвижение замка вперед и назад.

Барабан с цепочкой ввинчен в левый конец оси мотыля. Он служит для соединения рамы с возвратной пружиной и для вращения оси мотыля силою возвратной пружины (при движении подвижной системы вперед).

Рукоятка своим шестигранным отверстием надета на правый конец мотыля и закреплена винтом. Рукоятка имеет:

а) длинное плечо, которое при движении ствола с рамой назад, скользя своей нижней плоскостью по ролику, вращает ось мотыля, вследствие чего происходит отпирание ствола и отход замка назад; вместе с тем ввиду особой формы нижней плоскости длинное плечо рукоятки ускоряет отрыв замка от ствола и сообщает ему дополнительную скорость за счет торможения ствола, т. е. выполняет роль ускорителя;

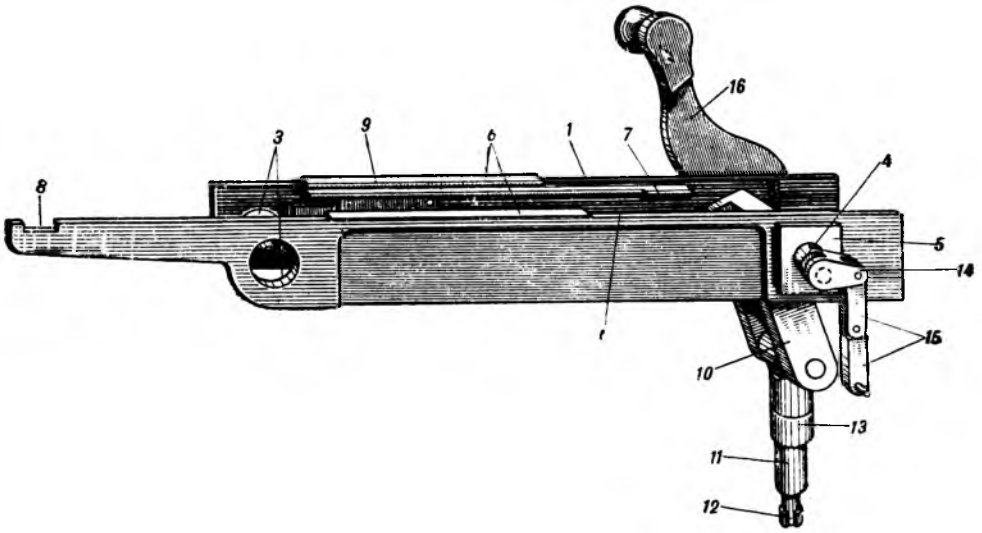


Рис. 369. Рама с мотылем, шатуном, рукояткой, барабаном и цепочкой (вид слева):

1 — правая станина; *2* — левая станина; *3* — отверстия для надевания на цапфы ствола; *4* — отверстия для оси мотыля; *5* — выступы рамы; *6* — продольные ребра; *7* — выступы для упора концом мотыля при запирании; *8* — вырез для пятки коленчатого рычага; *9* — пластинчатая пружина; *10* — мотыль; *11* — шатун; *12* — головка шатуна; *13* — гайка шатуна; *14* — барабан; *15* — цепочка барабана; *16* — рукоятка

б) короткое плечо с изгибом, которое ограничивает вращение **мотыля** и помогает возвратной пружине посылать раму и ствол вперед.

Замок (рис. 370) служит для извлечения патрона из приемника, подачи его в патронник, воспламенения капсюля, извлечения **гильзы** (патрона) из патронника и подачи ее (его) в выводную трубку.

Вместе с рамой, мотылем и шатуном замок образует механизм **запирания** ствола при выстреле.

В замок входят следующие части:

а) остов замка, соединяющий все части замка;

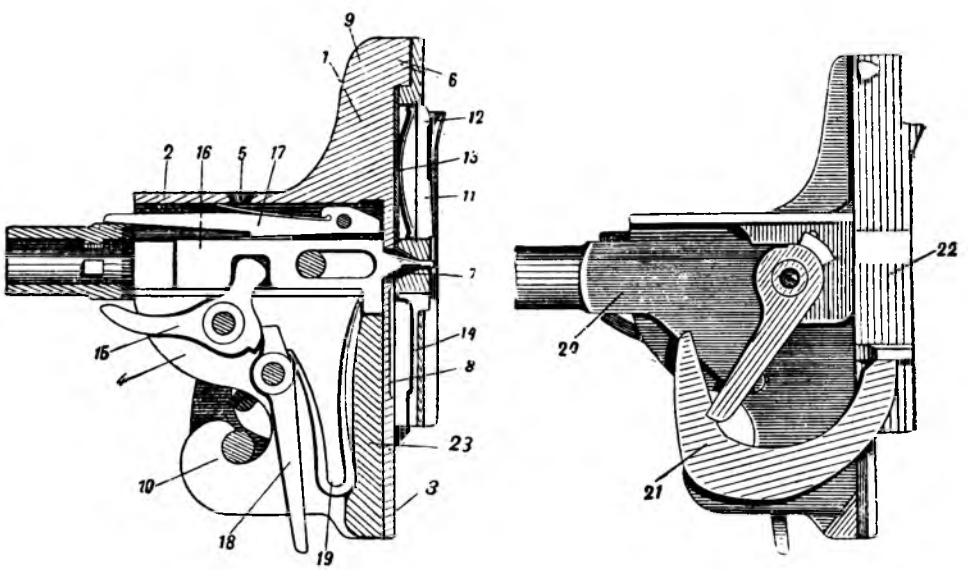


Рис. 370. Замок:

1 — остов; *2* — верхняя горизонтальная площадка; *3* — передняя стенка; *4* — щеки; *5* — отверстие для смазки замка; *6* — выступ; *7* — отверстие для выхода бойка ударника; *8* — паз для нижней защелки; *9* — гребень; *10* — витые вырезы; *11* — верхняя защелка; *12* — зуб верхней защелки; *13* — горбатая пружина; *14* — нижняя защелка; *15* — лодыжка; *16* — ударник; *17* — верхний предохранительный спуск; *18* — нижний спуск; *19* — боевая пружина; *20* — замочные рычаги; *21* — подъемные рычаги; *22* — боевая личинка; *23* — вкладыш

б) боевая личинка (рис. 371), служащая для извлечения патронов из приемника и перенесения их в патронник, а также для извлечения гильз (патронов) из патронника и перенесения их в выводную трубку; при выстреле боевая личинка принимает на себя давление пороховых газов, передаваемое через дно гильзы; в боевой личинке собраны верхняя защелка, удерживающая патрон в загибах боевой личинки при переносе его из приемника в патронник, и нижняя защелка, удерживающая гильзу (патрон) в загибах боевой личинки при переносе их из патронника в выводную трубку;

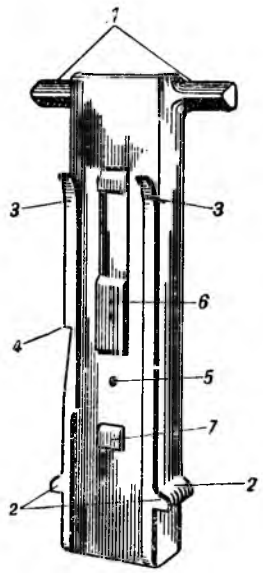


Рис. 371. Боевая личинка:

1 — рожки; *2* — выступы; *3* — загибы; *4* — скошенный вырез для пружины правой станины рамы; *5* — отверстие для выхода бойка ударника; *6*—верхняя защелка; *7* — нижняя защелка

в) замочные рычаги, которые при движении системы назад взводят при помощи лодыжки ударник, а при движении вперед — поднимают подъемные рычаги и освобождают ударник от верхнего предохранительного спуска; при выстреле замочные рычаги передают давление пороховых газов от остова замка на шатун с мотылем;

г) подъемные рычаги, служащие для поднятия боевой личинки вверх и удержания ее в нижнем положении;

д) верхний предохранительный спуск, удерживающий ударник на боевом взводе до тех пор, пока боевая личинка не поднимется в крайнее верхнее положение и отверстие боевой личинки не станет против отверстия остова для выхода бойка ударника, а при автоматической стрельбе — производящий спуск ударника;

е) ударник с бойком, помещающийся в пазах внутри остова замка и служащий для воспламенения капсюля;

ж) лодыжка, которая отводит ударник назад;

з) нижний спуск, совместно с лодыжкой удерживающий ударник на боевом взводе;

и) боевая пружина, служащая для сообщения ударнику энергии, потребной для разбивания капсюля и для постановки шептала нижнего

Рис. 372. Спусковая тяга:

1 — прорезь для соединения с шипом дна короба; *2* — продольный паз; *3* — гнездо для спускового рычага; *4* — шип; *5* — выступ для отвода назад хвоста нижнего спуска

спуска под боевой взвод лодыжки; боевая пружина удерживается внутри остова замка при помощи вкладыша.

Спусковая тяга (рис. 372) служит для вывода шептала нижнего спуска из-под боевого взвода лодыжки.

Короб (рис. 373) служит для помещения рамы, замка, спусковой тяги и приемника. Он состоит из двух боковых стенок и дна. Передней стенкой короба служит дно кожуха, задней — затыльник. Сверху короб закрывается крышкой.

Крышка короба (рис. 374) имеет: сверху — выем для крепления стойки прицела, снизу — пресс, который не дает замку подниматься при выходе его из пазов рамы, и две пластинчатые пружины, которые при

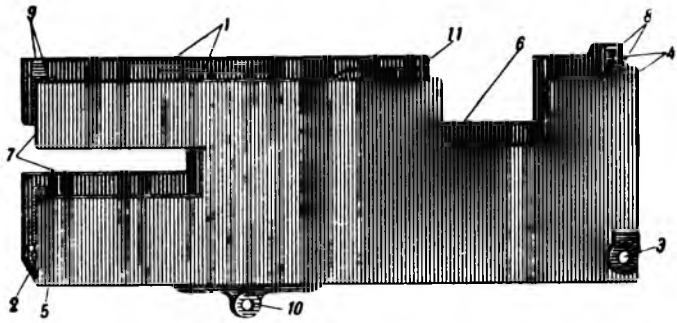


Рис. 373. Короб:

1 — стенки; *2* — дно; *3* — отверстия для соединительного болта; *4* — отверстия для оси крышки; *5* — отверстия для чеки; *6* — вырез для приемника; *7* — вырезы для выступов рамы и задвижек; *8* — вертикальные выступы для соединения с кожухом; *9* — вертикальные выступы для соединения с затыльником; *10* — проушина с отверстием для соединения с механизмом тонкой вертикальной наводки; *11* — верхние планки

отходе замка назад давят на рожки боевой личинки, помогая ей опускаться вниз.

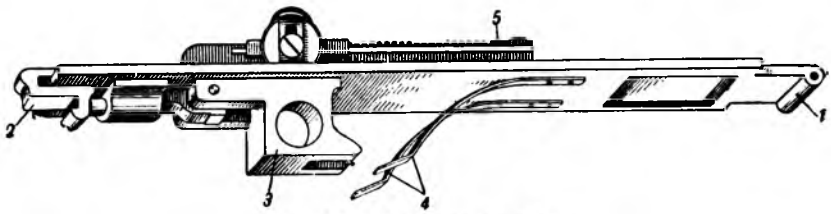


Рис. 374. Крышка короба:

1 — ушко с отверстием; *2* — застежка; *3* — пресс; *4* — пластинчатые пружины *5* — стойка прицела

Задвижки (правая и левая) помещаются в задних вырезах стенок короба.

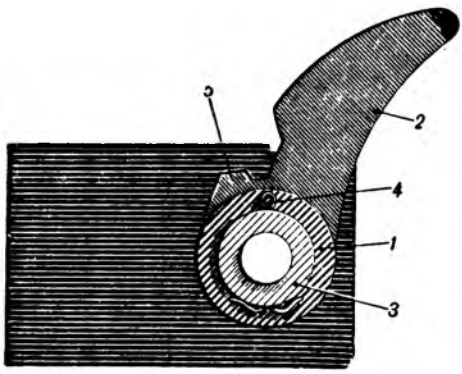


Рис. 375. Правая задвижка:

1 — ролик; *2* — задержка; *3* — шайба; *4* — шплинт; *5* — пятка

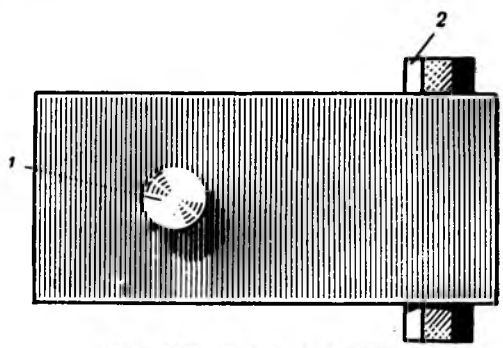


Рис. 376. Левая задвижка:

1 — шип; *2* — выступ

Правая задвижка (рис. 375) снаружи на оси имеет ролик, по которому скользит рукоятка, и задержку для устранения отскока рукоятки. Сзади на внутренней стороне правая задвижка имеет выступ для соединения

с затыльником и предохранительный выступ, который упирается в переднюю плоскость затыльника и этим ослабляет действие удара рукоятки о ролик на стенку короба.

Левая задвижка (рис. 376) снаружи имеет шип для вилки коробки с возвратной пружиной.

Затыльник (рис. 377) своими боковыми пазами надвигается на задние вертикальные выступы стенок короба и закрепляется пружинной чекой. Он имеет две ручки, служащие для удобства обращения с пулеметом при стрельбе, спусковой рычаг и предохранитель. Спусковой рычаг вращается на оси. Нижний конец его входит в гнездо спусковой тяги, а верхний опирается на пружину. Последняя служит для возвращения спусковой тяги вперед после прекращения стрельбы.

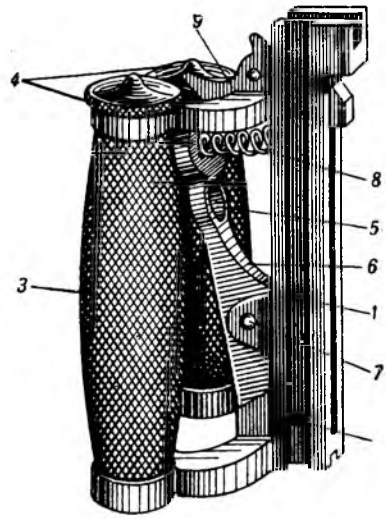


Рис. 377. Затыльник:

1 — пазы для соединения с коробом; *2* — отверстие для разрезной чеки; *3* — ручки; *4* — крышки; *5* — окно; *6* — спусковой рычаг; *7* — ось рычага; *8* — пружина спускового рычага; *9* — предохранитель

Предохранитель укреплен в ушках затыльника и служит для предохранения от выстрела при случайном нажиме на спусковой рычаг. Предохранитель имеет свою пружину.

Возвратная пружина (рис. 378) на переднем конце снабжена гайкой для соединения с натяжным винтом, который при стрельбе остается неподвижным. На заднем конце пружины имеется крючок для соединения с цепочкой барабана. При выстреле, когда подвижная система отходит назад, а цепочка наматывается на барабан, пружина растягивается. Накопленная ею при этом энергия используется затем для возврата подвижной системы в первоначальное положение.

Пружина помещается в коробке, которая имеет спереди два крючка, а сзади — вилку для укрепления на коробе пулемета.

Для изменения натяжения возвратной пружины имеется специальный вороток.

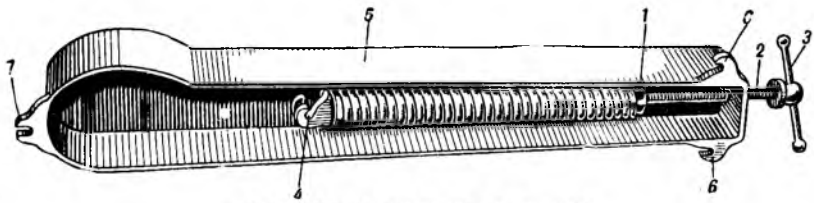


Рис. 378. Возвратная пружина:

1 — гайка; *2* — натяжной винт; *3* — вороток; *4* — крючки; *5* — коробка; *6* — крючки коробки; *7* — вилка

Приемник (рис. 379) помещается в верхних вырезах стенок короба. В поперечном окне приемника сверху расположен ползун с двумя верхними пальцами и пружиной. При помощи шипа ползун соединяется с коленчатым рычагом, пятка которого входит в вырез на левой станине рамы. При стрельбе движение рамы через коленчатый рычаг сообщается ползуну, пальцы которого подают очередной патрон в продольное окно приемника.

Нижние пальцы приемника удерживают ленту с патронами от выпадания из приемника.

Кожух (рис. 380) служит для помещения ствола, пароотводной трубки и охлаждающей жидкости. Он состоит из трубы и двух доньев (переднего и заднего).

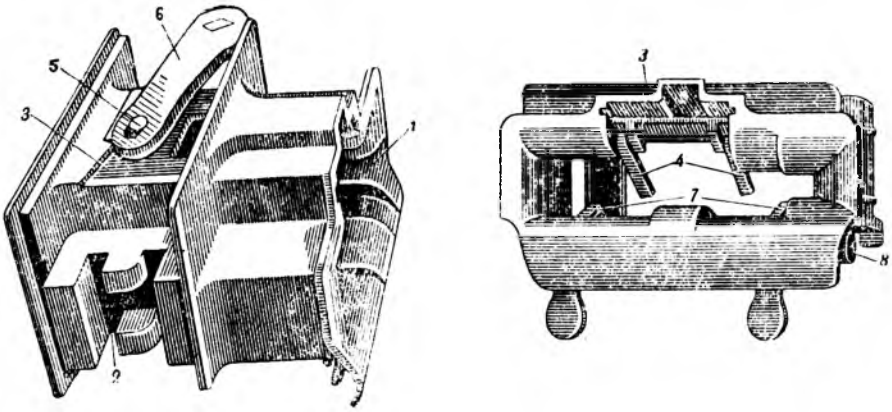


Рис. 379. Приемник:

1 — поперечное окно; *2* — продольное окно; *3* — ползун; *4* — верхние пальцы; *5* — шип ползуна; *6* — коленчатый рычаг; *7* — нижние пальцы; *8* — разрезная чека

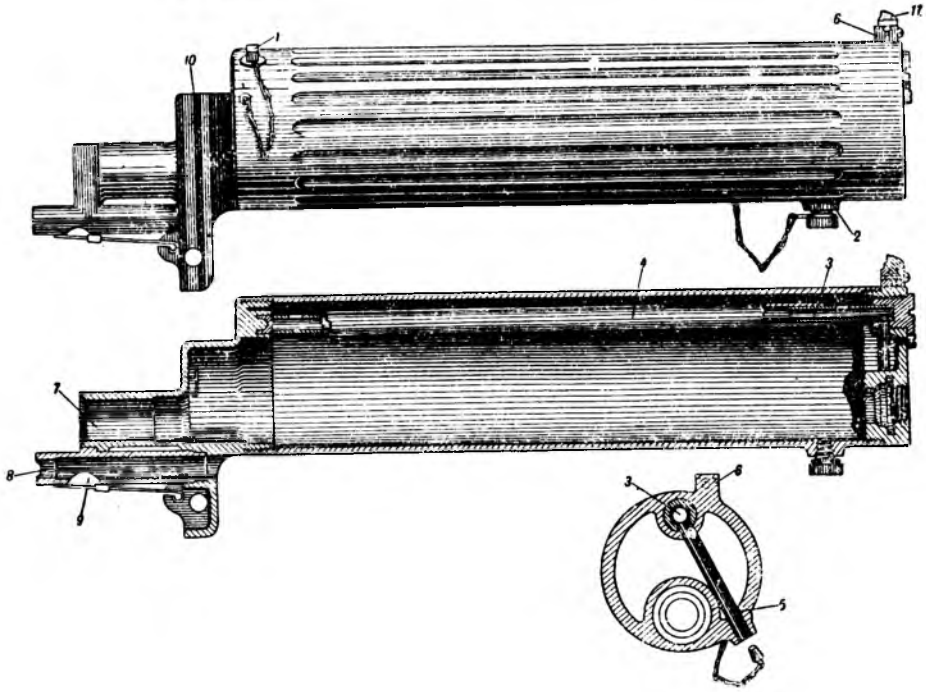


Рис. 380. Кожух:

1 — наливное отверстие; *2* — выливное отверстие; *3* — пароотводная трубка; *4* — муфта; *5* — поперечный канал; *6* — прилив; *7* — труба с раструбом; *8* — выводная трубка; *9* — пружина выводной трубки; *10* — паз для соединения с коробом; *11* — мушка

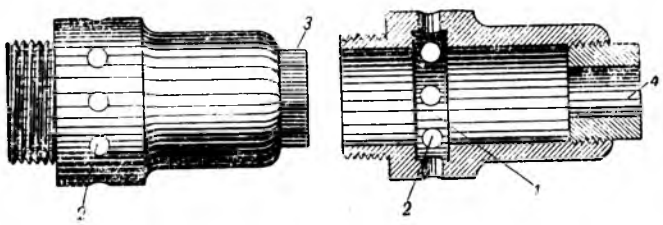


Рис. 381. Надульник:

1 — кольцеобразный паз; *2* — отверстия для выхода газов; *3* — втулка; *4* — канал для прохода пули

На боковых плоскостях заднего дна кожуха имеются пазы для соединения со стенками короба, а внизу — отверстие для болта, соединяющего пулемет с вертлюгом станка.

Пароотводная трубка помещается внутри кожуха. Она имеет два отверстия (переднее и заднее), через которые пар входит в трубку, и одно отверстие (у переднего конца) для выхода пара из пароотводной трубки наружу. На трубку надета подвижная муфта, которая при наклоне кожуха вперед закрывает переднее отверстие, а при наклоне назад — заднее отверстие, не позволяя тем самым охлаждающей жидкости выливаться из кожуха через пароотводную трубку.

Надульник (рис. 381) служит для сообщения подвижной системе пулемета дополнительного импульса (усиление отдачи) в момент вылета пули из канала ствола. Спереди в надульник ввинчена втулка с каналом, через который вылетает пуля.

Прицельное приспособление — открытого типа и состоит из прицела и мушки.

Прицел (рис. 382) укреплен на крышке короба и состоит из стойки с зубчатой рейкой, хомутика с поперечной трубкой для целика и маховичка с тормозом.

На стойке винтом укреплена прицельная планка, на которой с обеих сторон нанесены деления: с одной стороны — для стрельбы пулей обр. 1908 г. (буква Л) на дальности до 2 200 *м*, с другой — для стрельбы пулей обр. 1930 г. (буква Т) на дальности до 2 600 *м*.

Целик имеет прорезь для прицеливания и указатель для установки его на нужное деление.

На трубке нанесены деления для установки целика. Каждое деление отвечает одной тысячной дальности.

Мушка (рис. 383) своим основанием вставлена в паз на приливе передней части кожуха и закреплена винтом.

Помимо прицела открытого типа, станковый пулемет снабжается для стрельбы по наземным целям оптическим прицелом, а для стрельбы по воздушным целям — зенитным прицелом.

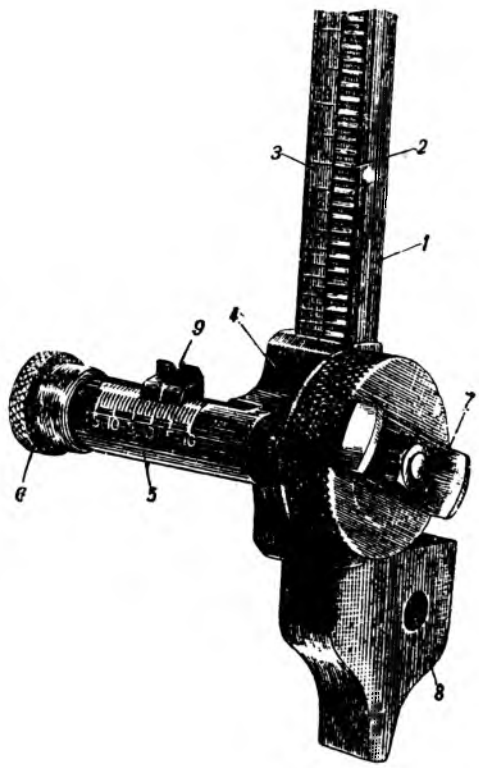


Рис. 382. Прицел:
1 — стойка; *2* — зубчатая рейка; *3* — прицельная планка; *4* — хомутик; *5* — поперечная трубка; *6* — маховичок; *7* — пластинка тормоза; *8* — отверстие для оси; *9* — целик

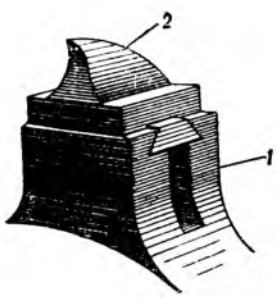


Рис. 383. Мушка:
1 — прилив; *2* — мушка

Работа деталей и механизмов пулемета. Положение деталей пулемета до заряжания. Ствол и рама находятся в крайнем переднем положении. Бронзовая гайка ствола упирается в раструб заднего дна кожуха, ограничивая движение ствола и рамы вперед, а передний конец ствола — в надульнике, причем срез его не доходит до втулки. Выступы рамы помещаются в задних вырезах стенок короба. Между передними стенками выступов рамы и стенками короба имеется небольшой зазор, предохраняющий выступы рамы от ударов по стенкам короба.

Рукоятка находится своей узкой частью над роликом. Между роликом и рукояткой имеется зазор. При таком положении рукоятки мотыль с шатуном образуют тупой угол, обращенный вершиной вверх, а конец мотыля упирается в выступы рамы.

Замок горизонтальной площадкой находится в пазах рамы, загибы боевой личинки — в пазах заднего обреза ствола и приемника. Вместе с рамой, мотылем и шатуном замок запирает патронник.

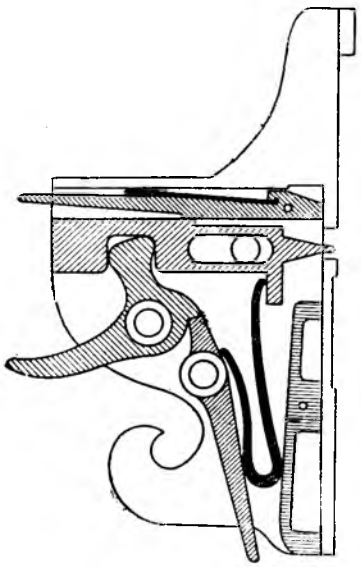


Рис. 384. Положение частей замка перед выстрелом. Ударник на боевом взводе

Ударник спущен. Боевая пружина разжата. Головка лодыжки находится в вырезе ударника. Замочные рычаги удерживают боевую личинку в верхнем положении. Трубка замочных рычагов поднята кверху и нажимает на верхний предохранительный спуск, вследствие чего пружина его поджата, а выступ спуска находится позади предохранительного взвода ударника.

Возвратная пружина находится в наименьшем натяжении.

Спусковой рычаг под действием своей пружины отведен верхним концом назад, а нижним — вперед. Спусковая тяга, соединенная с нижним концом спускового рычага, удерживается им в крайнем переднем положении. Предохранитель своей пружиной отжат вниз.

Ползун приемника находится в крайнем левом положении. Верхние пальцы ползуна пружиной отжаты книзу, нижние пальцы подняты кверху, а концы их находятся правее концов верхних пальцев.

Заряжание пулемета. Положение деталей и механизмов пулемета перед выстрелом. Чтобы произвести заряжание пулемета, необходимо:

1. Вставить наконечник ленты в поперечное окно приемника и продернуть ленту влево дотказа.

2. Подать рукоятку вперед. Замок при этом отойдет назад, боевая личинка с верхних планок короба опустится вниз.

3. Продернуть ленту влево дотказа. Патрон при этом войдет в продольное окно приемника.

4. Отпустить рукоятку. Под действием возвратной пружины замок пойдет вперед, боевая личинка поднимется вверх, а загибы ее захватят очередной патрон.

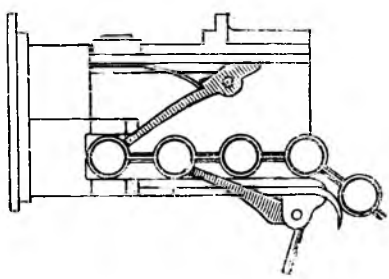


Рис. 385. Положение верхних и нижних пальцев приемника перед выстрелом

5. Вторично подать рукоятку вперед. Замок снова отойдет назад. Боевая личинка вытянет из приемника первый патрон, затем, пройдя планки короба, опустится вниз, и этот патрон встанет против патронника. При отходе и опускании боевой личинки патрон удерживается в ней загибами личинки и верхней защелкой и поэтому не может перекоситься.

6. Продернуть ленту еще раз влево дотказа, вследствие чего второй патрон войдет в продольное окно приемника.

7. Вторично отпустить рукоятку. Замок возвращается вперед. Первый патрон, удерживаемый верхней защелкой, входит в патронник, а боевая личинка поднимается вверх. При этом первый патрон, оставаясь в патроннике, скользит по загибам боевой личинки, сходит с верхней защелки и становится над нижней, капсюлем против отверстия в боевой личинке

для выхода бойка ударника, а второй патрон, находящийся в продольном окне приемника, захватывается загибами боевой личинки и становится на верхнюю защелку.

Пулемет заряжен для автоматической стрельбы. На боевой личинке находятся два патрона.

В положении частей пулемета перед выстрелом по сравнению с положением их до заряжания имеются следующие особенности. Как и в первом случае, ствол с рамой находится в крайнем переднем положении, а замок вместе с рамой, мотылем и шатуном прочно запирает патронник, в котором находится патрон. Ударник взведен (рис. 384). Боевой взвод лодыжки упирается в шептало нижнего спуска. Боевая пружина сжата. Хвост нижнего спуска находится перед выступом спусковой тяги. Ползун приемника находится в крайнем левом положении. Верхние и нижние пальцы приемника занимают положение, указанное на рис. 385.

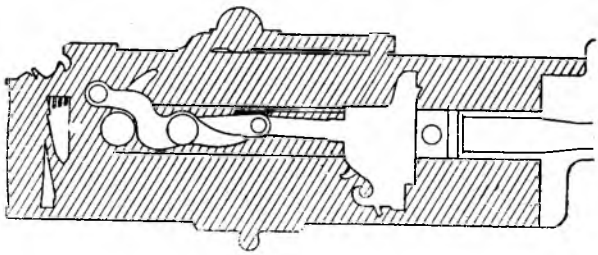


Рис. 386. Схема запирания канала ствола при выстреле

Работа деталей и механизмов пулемета при стрельбе. Чтобы произвести выстрел, необходимо поднять предохранитель и нажать на верхний конец спускового рычага. При этом нажиме нижний конец спускового рычага отходит назад и отводит за собой спусковую тягу, которая выступом своим оттягивает хвост нижнего спуска и выводит шептало его из-под боевого взвода лодыжки. Боевая пружина посылает ударник вперед; ударник поворачивает лодыжку; боек ударника, пройдя через отверстие в боевой личинке, воспламеняет капсюль патрона, находящегося в патроннике. Происходит выстрел.

При выстреле давление пороховых газов на дно гильзы передается на замок, который в свою очередь передает это давление шатуну и мотылю. Так как мотыль с шатуном образуют в это время угол, вершина которого обращена вверх, а конец мотыля упирается в выступы рамы (рис. 386), то замок не может отделиться от ствола и продолжает прочно запирать патронник. Вместе с тем в результате отдачи рама со стволом и запертым замком начинает отходить назад, растягивая возвратную пружину.

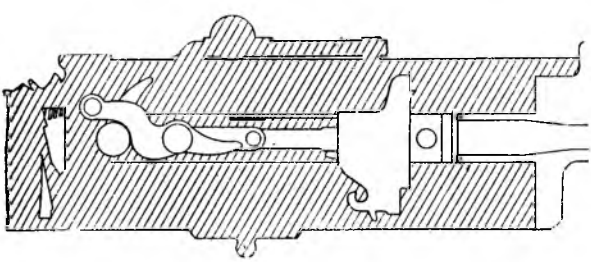


Рис. 387. Схема механизма запирания канала ствола в момент касания рукоятки о ролик

При отходе рамы назад на величину зазора между рукояткой и роликом рукоятка изгибом длинного плеча набегает на ролик, поднимается кверху и поворачивает ось мотыля. Мотыль с шатуном при этом выпрямляется (рис. 387), отчего замок продвигается вперед и еще плотнее прижимается к обрезу ствола.

Величина зазора между роликом и рукояткой рассчитана так, чтобы момент отпирания патронника происходил не ранее вылета пули из канала ствола. В пулеметах последних образцов оставляют зазор в пределах от 0,2 до 0,45 *мм*.

Вследствие малого наклона мотыля относительно оси оружия (менее 1°) перемещение замка вперед в момент набегания рукоятки на ролик получается менее 0,1 *мм*, что возможно за счет выбирания зазоров и упругих деформаций.

Путь рамы со стволом назад к моменту вылета пули из канала ствола равен около 2 *мм*.

В момент вылета пули из канала ствола газы вслед за пулей врываются в надульник и, действуя на передний срез ствола, увеличивают скорость движения подвижной системы назад. Рукоятка, скользя по ролику, вращает ось мотыля и отводит замок от ствола (рис. 388). При этом ствол через рукоятку как ускоритель передает часть своей энергии замку, шатуну и мотылю, вследствие чего поступательная скорость замка увеличивается, а скорость рамы со стволом уменьшается. Уменьшение скорости рамы со стволом зависит также от сопротивления возвратной пружины и трения подвижной системы о направляющие.

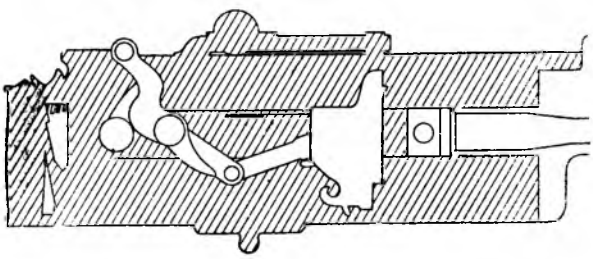


Рис. 388. Отход замка от ствола после вылета пули из канала ствола

Взаимодействие остальных деталей подвижной системы во время выстрела сводится к следующему. При отходе замка назад трубка замочных рычагов опускается вниз, нажимает на хвост лодыжки, и последняя отводит ударник назад. Боевая пружина сжимается, шептало нижнего спуска заходит под боевой взвод лодыжки. При дальнейшем опускании трубки замочных рычагов ударник отходит назад настолько, что выступ верхнего предохранительного спуска заходит за предохранительный взвод ударника. При этом боевой взвод лодыжки не упирается в шептало нижнего спуска, а стоит над ним.

При отходе замка назад боевая личинка скользит по верхним планкам короба и извлекает из приемника патрон, а из патронника гильзу. Пройдя планки, она опускается вниз и ставит патрон против патронника, а гильзу — против выводной трубки.

При отходе рамы со стволом назад левая станина оттягивает своим вырезом пятку коленчатого рычага назад и отводит ползун вправо; пальцы ползуна при этом заскакивают за очередной патрон в приемнике.

При движении рамы со стволом вперед левая станина рамы подает пятку рычага вперед, отчего ползун отходит влево и пальцами своими продвигает очередной патрон в продольное окно приемника.

При движении замка вперед боевая личинка вводит патрон в патронник, а гильзу в выводную трубку. Хвост нижнего спуска наскакивает на выступ спусковой тяги, отчего шептало нижнего спуска выходит из-под боевого взвода лодыжки. Однако ударник остается во взведенном положении вследствие упора своего предохранительного взвода в выступ верхнего предохранительного спуска.

Когда боевая личинка под действием подъемных рычагов поднимается кверху и становится своим отверстием для бойка ударника против капсюля патрона, находящегося в патроннике, трубка замочных рычагов поднимает хвост верхнего предохранительного спуска и выводит его выступ из-за предохранительного выступа ударника. В момент когда трубка замочных рычагов нажимает на хвост верхнего спуска, мотыль с шатуном образуют тупой угол, обращенный вершиной вверх, а концы мотыля упираются в выступы рамы. Замок вместе с шатуном и мотылем прочно запирают патронник. В это время боевая пружина посылает ударник вперед. Следует новый выстрел.

Чтобы избежать в момент выстрела отскока рукоятки и отпирания патронника, на правой задвижке смонтирована специальная задержка.

После второго выстрела части пулемета снова проделывают описанную выше работу. Автоматическая стрельба при правильной работе пуле-

мета продолжается до тех пор, пока нажат спусковой рычаг и пока в ленте имеются патроны.

По прекращении нажатия на спусковой рычаг стрельба прекращается, но пулемет остается заряженным.

Для разряжания пулемета нужно дважды подать рукоятку вперед и отпустить ее, затем поднять предохранитель, нажать на спусковой рычаг (спустить ударник), поджимая нижние пальцы приемника, вытащить ленту из него и вытолкнуть из выводной трубки оставшуюся там гильзу (патрон).

Устройство станка. Станок системы Соколова придает пулемету устойчивость при стрельбе. Он состоит из остова и стола (рис. 389).

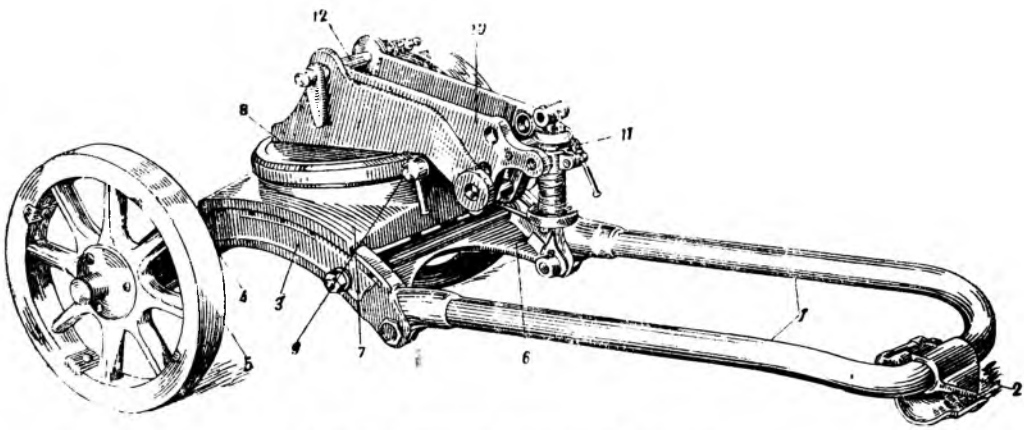


Рис. 389. Станок системы Соколова:

1 — хобот; *2* — сошник; *3* — дуги; *4* — ось; *5* — колеса (катки); *6* — связь; *7* — стол; *8* — вертлюг; *9* — хомут; *10* — подъемный механизм для грубой вертикальной наводки; *11* — подъемный механизм для точной вертикальной наводки; *12* — соединительный болт

Остов соединяет все части станка. Он состоит из: а) хобота с сошником, служащего упором пулемету при стрельбе; б) двух дуг, имеющих направляющие для движения стола и круглые отверстия для концов стопора, закрепляющего стол на дугах в приданном положении; в) оси, на концы которой надеваются колеса (катки) для передвижения пулемета, и г) связи, которая стягивает задние концы дуг и соединяет их с хоботом.

Стол служит для соединения пулемета со станком и для наводки. Он состоит из: а) доски, имеющей снизу пазы для соединения с дугами остова; б) вертлюга, помещающегося в окне доски стола и служащего для горизонтальной наводки пулемета и горизонтального рассеивания при стрельбе; в) зажимного приспособления для закрепления вертлюга в окне доски стола; г) стопорного приспособления; д) подъемного механизма для грубой вертикальной наводки; е) подъемного механизма для точной вертикальной наводки и ж) соединительного болта, служащего для соединения пулемета со станком и удержания щита.

Кроме того, на станке устанавливается щит, который предохраняет наводчика от пуль противника.

7. Авиационный пулемет ПВ-1

Авиационный пулемет ПВ-1 (рис. 390) устанавливается на самолеты для ведения стрельбы через винт с неподвижных установок и для стрельбы вне плоскости вращения винта с неподвижных или ограниченно подвижных установок. Он представляет собой станковый пулемет Максима, переделанный с целью облегчения и приспособления его для вооружения авиации.

Особенности устройства пулемета ПВ-1. Калибр и все основные размеры ствола пулемета ПВ-1 те же, что и в станковом пулемете. Вместо водяного охлаждения пулемет ПВ-1 имеет воздушное охлаждение. Последнее обеспечило возможность применения в пулемете ПВ-1 облегченного кожуха, который служит для направления движения ствола при выстреле.

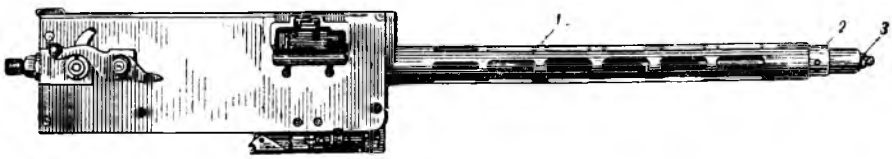


Рис. 390. Пулемет ПВ-1:

1 — кожух; *2* — надульник; *3* — гайка надульника

Надульник пулемета ПВ-1 снабжен двумя втулками с различными отверстиями для прохода пули. Одна втулка имеет отверстие диаметром 14 *мм* и служит для стрельбы с нормальным темпом — около 600 выстрелов в минуту. Другая втулка имеет отверстие диаметром 10 *мм* и служит для стрельбы с повышенным темпом — около 750 выстрелов в минуту.

Для этой же цели пулемет ПВ-1 снабжен специальным буфером, который смонтирован в затыльнике (рис. 391), а к станинам рамы прикреплена планка (рис. 392). При выстреле рама, отходя назад, планкой сжимает буферную пружину. Назначение буфера — сообщение большей начальной скорости подвижной системе пулемета при движении ее вперед. Вместе с гайкой надульника (диаметр отверстия — 10 *мм*) буфер обеспечивает повышение темпа стрельбы до 750 выстрелов в минуту.

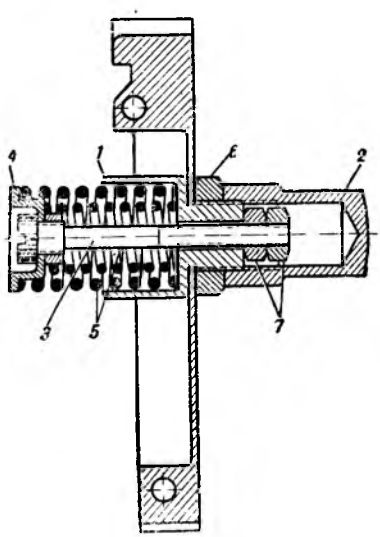


Рис. 391. Затыльник с буфером:

1 — втулка; *2* — колпачок; *3* — регулирующий винт; *4* — шайба; *5* — буферные пружины; *6* — большая гайка; *7* — две малые гайки, одна из которых является контргайкой

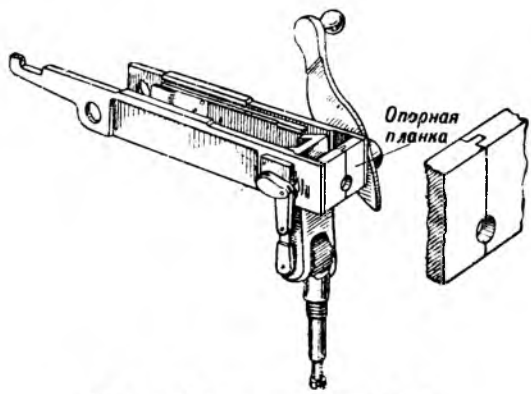


Рис. 392. Рама пулемета ПВ-1

В пулемете ПВ-1 приемник — с правым и левым входом ленты. Благодаря введению специальных деталей представляется возможность питания пулемета патронами из ленты, подаваемой к пулемету и слева от него. Существенное достоинство приемника с левым входом ленты — возможность постановки его на любой пулемет ПВ-1, без изменения других деталей пулемета.

Схема работы механизма приемника с правым и левым входом ленты показана на рис. 393.

Питание пулемета ПВ-1 патронами производится при помощи металлической звеньевой ленты, причем шарниром, соединяющим отдельные звенья ленты, является самый патрон.

Пулемет ПВ-1 устанавливается на самолете, как правило, в значительном удалении от стреляющего. Поэтому для заряжания пулемета, а также для перезаряжания его или для устранения задержек при стрельбе пулемет ПВ-1 снабжается специальной ручкой перезаряжания.

Во избежание простреливания винта самолета при стрельбе через винт пулемет ПВ-1 снабжен синхронным механизмом, обеспечивающим спуск ударника в зависимости от вращения винта.

Пулемет ПВ-1 является достаточно надежным и при правильной подготовке к стрельбе безотказно действующим оружием. Сходство конструкции пулемета ПВ-1 с конструкцией пулемета Максима в значительной мере облегчает производство и эксплоатацию пулемета ПВ-1.

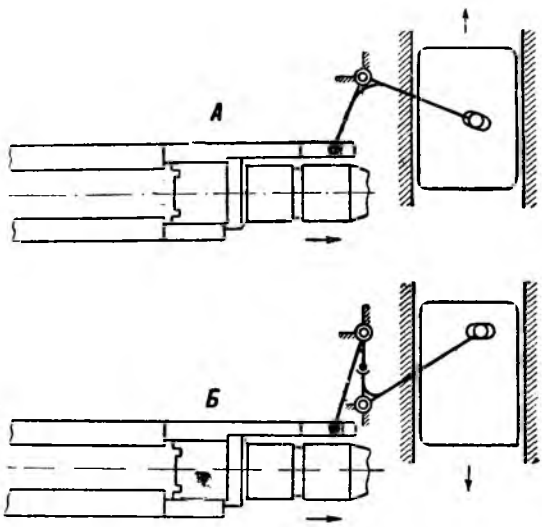


Рис. 393. Схема работы механизма приемника: *А* — с правым входом ленты; *Б* — с левым входом ленты

Существенный недостаток пулемета ПВ-1 — малый темп стрельбы, приводящий к необходимости увеличения числа огневых точек на самолете. Последнее в свою очередь невыгодно вследствие большого веса пулемета (14,5 *кг*).

В заключение приводим основные данные рассмотренных нами видов стрелкового оружия (таблица 68).

Таблица 68

Название оружия	Калибр в *мм*	Вес пули в *г*	Начальная скорость в *м/сек*	Вес оружия в *кг*	Число патронов в обойме или магазине
Винтовка обр. 1891/30 г.	7,62	9,6	865	4,5	5
Револьвер обр. 1895 г.	7,62	6,55	272	0,834[1]	7
Пистолет обр. 1930 г.	7,62	5,62	420	0,91[1]	8
Ручной пулемет ДП	7,62	9,6	840	8,4	47
Танковый пулемет ДТ	7,62	9,6	840	8,35	63
Станковый пулемет Максима обр. 1910 г.	7,62	9,6 (1908 г.) 11,8 (1930 г.)	865 800	66	250

ГЛАВА III

БОЕПРИПАСЫ СТРЕЛКОВОГО ОРУЖИЯ

1. Патроны. Виды патронов и требования, предъявляемые к ним

В соответствии с тактическим назначением патроны стрелкового оружия подразделяются на боевые и вспомогательные.

Боевые патроны предназначаются для поражения живой силы и материальной части противника.

[1] Заряженного.

Вспомогательные патроны служат для обучения войск и для стрелкового спорта. Сюда относятся: а) учебные патроны; б) холостые патроны; в) малокалиберные патроны.

Боевые патроны в свою очередь делят на патроны: а) с обыкновенными пулями; б) с корректировочными пулями; в) с пулями специального назначения.

Патроны с обыкновенной пулей предназначаются для поражения живых открытых целей, а также живых целей, находящихся за легкими преградами и закрытиями. К этой группе патронов относятся состоящие на вооружении Красной Армии: а) винтовочно-пулеметные патроны калибра 7,62 *мм* с легкой пулей обр. 1908 г. и тяжелой пулей обр. 1930 г.; б) револьверные (для револьвера обр. 1895 г.) и пистолетные (для пистолета обр. 1930 г.) патроны, предназначенные для непосредственной обороны и нападения.

Патроны с корректировочными пулями служат для пристрелки и корректировки огня. Ими также можно поражать живые открытые цели. К этой группе относятся патроны для пристрелки, дающие легкое облако дыма в точке падения, и патроны с трассирующими пулями, которые при полете в воздухе дают огненный или дымный след, обеспечивающий возможность наблюдения за результатами стрельбы.

Патроны с пулями специального назначения служат не только для поражения живой силы противника, но главным образом для поражения и вывода из строя его материальной части.

Патроны с пулями специального назначения подразделяются следующим образом:

а) патроны с бронебойной пулей, предназначенные для поражения целей, имеющих броневое закрытие (танки, танкетки, бронемашины и пр.);

б) патроны с зажигательной пулей, служащие для зажигания горючего в бензобаках при стрельбе по авиацелям или для поджигания газа при стрельбе по аэростатам и пр.;

в) патроны с пулями двойного или тройного действия, например бронебойно-трассирующими, бронебойно-зажигательными, бронебойно-зажигательно-трассирующими пулями и т. д.

Рассмотрим общие требования, предъявляемые к боевым патронам в соответствии с их видом и тактическим назначением.

1) Основные балистические и боевые качества оружия оценивают по величине начальной скорости пули, наибольшему давлению пороховых газов, горизонтальной дальности, крутизне траектории, кучности, меткости, пробивной способности, величине отдачи, весу и относительным размерам патрона. Стремление удовлетворить одному из этих требований часто находится в противоречии с другим. Например, увеличение начальной скорости пули чаще всего связано с необходимостью повышения давления в канале ствола. Последнее приводит не только к увеличению веса ствола и оружия в целом, но и к увеличению отдачи. Следовательно, при проектировании патрона надо стремиться к тому, чтобы все эти требования удовлетворялись в наивыгоднейшем соотношении и в полном соответствии с тактическим назначением патрона.

2) Вес патрона, форма и размеры его оказывают влияние не только на размеры и вес оружия, но и на количество носимого и возимого запаса патронов. При необходимости сохранения определенного боекомплекта увеличение веса патрона ведет к понижению маневренности части. Кроме того, форма и размеры патрона определяют габариты магазина в автоматическом и неавтоматическом оружии, габариты патронного ящика, подсумка бойца и пр. Все эти элементы должны учитываться конструктором при проектировании патрона.

3) Качество изготовления, форма и размеры патрона должны обеспечивать безотказную работу оружия, особенно оружия автоматического. Поэтому: а) патрон должен быть прочным, т. е. должен выдерживать без деформации удары при укупорке и перевозке ящиков, при снаряже-

нии магазинов и т. д.; б) пуля должна настолько прочно удерживаться в дульце гильзы, чтобы исключалась всякая возможность выпадания ее при ударах и сотрясениях, связанных с работой механизмов автоматического оружия; в) во избежание выпадания и осечек капсюль должен прочно удерживаться в гнезде гильзы, а глубина посадки его должна быть одинаковой.

4) Балистические свойства патрона не должны изменяться при длительном хранении его. Это достигается такой конструкцией патрона, которая исключает возможность воздействия на него атмосферных условий (изменение температуры, влияние влажности и др.).

5) Так как патроны с обыкновенными пулями и с пулями специального назначения данного калибра применяются при стрельбе из одного и того же оружия, то балистические свойства пуль специального назначения должны быть очень близкими к балистическим свойствам обыкновенных пуль.

6) Конструкция патрона должна гарантировать полную его безопасность при хранении, перевозке, подготовке к выстрелу и снаряжении магазинов.

7) Патрон должен быть прост и дешев в производстве. Он должен изготовляться из недефицитного отечественного материала.

2. Патрон 7,62-*мм* калибра с легкой пулей обр. 1908 г.

Патрон состоит из легкой пули обр. 1908 г., гильзы, заряда и капсюля (рис. 394).

Легкая пуля обр. 1908 г. Пуля состоит из оболочки *1* и сердечника *2*. До 1930 г. оболочку пули изготовляли из мельхиора — сплава меди с никелем (78—80% никеля и 22—20% меди). С 1930 г. оболочку изготовляют из железа. Для предохранения пули от ржавления и для уменьшения износа канала ствола оружия при стрельбе железную оболочку покрывают слоем томпака (сплав, состоящий из 89% меди и 11% цинка) толщиной 0,06 *мм*. Оболочка достаточно пластична, что обеспечивает заполнение нарезов ствола при врезании пули, и достаточно прочна, что обеспечивает пулю от срыва при движении ее по нарезам.

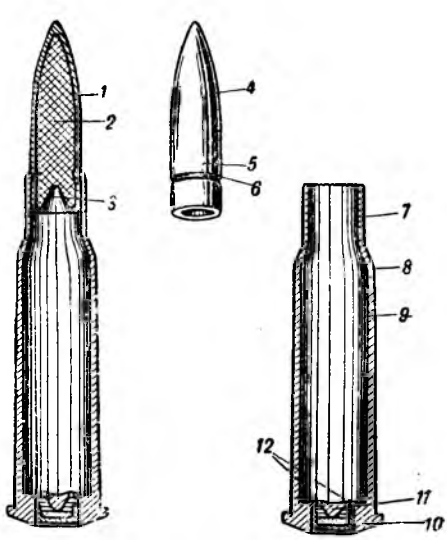


Рис. 394. Патрон 7,62-*мм* калибра с легкой пулей обр. 1908 г.

Сердечник изготовляют из свинца, в который добавляют от 1,5 до 2% сурьмы. Сурьма необходима в целях повышения температуры плавления сердечника, а также для облегчения процесса изготовления пули, так как запрессовка сердечника в оболочку без добавления сурьмы вызывает налипание свинца на рабочий инструмент (пуансон).

По форме в пуле различают головную ее часть, или оживал *4*, и ведущую часть *5*. Форму головной части пули и высоту ее подбирают с таким расчетом, чтобы получить наименьшее значение силы сопротивления воздуха и обеспечить достаточную устойчивость пули на полете. Обычно головная часть пули представляет тело вращения, образованное дугой окружности.

Назначение ведущей части — обеспечить вращательное движение пули и устранить возможность прорыва пороховых газов между поверхностью пули и внутренними стенками канала ствола.

Наивыгоднейшее соотношение между высотой головной части пули и длиной ведущей ее части подбирают опытным путем.

Ведущая часть пули обр. 1908 г. — не цилиндрическая, а коническая с максимальным диаметром пули у ее донного среза. Дно пули имеет внутренний конус *3*, обеспечивающий более выгодные условия обтюрации, так как под давлением пороховых газов на поверхность конуса ведущая часть пули плотно входит в нарезы ствола. По той же причине износ полей нарезов ствола оказывает меньшее влияние на устойчивость легкой пули по сравнению, например, с тяжелой, которая имеет иное устройство хвостовой части.

Ведущая часть пули имеет кольцевой желобок или накатку *6*. В накатку завальцовывают дульце гильзы и обжимают в ней, чем обеспечивается надежное соединение пули с гильзой.

Как уже было отмечено, до 1930 г. оболочку легкой пули обр. 1908 г. изготовляли из мельхиора. С 1930 г. оболочку пули изготовляют из железа. В том же году была введена накатка на ведущей части пули. Поэтому наименование „легкая пуля обр. 1908 г." относится к пуле с мельхиоровой оболочкой и без накатки, а пуля с железной плакированной оболочкой и с накаткой называется „легкая пуля обр. 1908/30 г." Вследствие того что балистические свойства этих пуль одинаковы, в таблицах стрельбы всюду речь идет о легкой пуле обр. 1908 г.

Гильза служит для: а) соединения в одно целое всех элементов патрона и облегчения заряжания; б) обтюрации, т. е. для того, чтобы не допустить прорыва пороховых газов в сторону затвора; в) предохранения заряда от влияния внешних условий.

Гильзу изготовляют из латуни — сплава меди (67—70%) и цинка (33—30%) или из железа, плакированного томпаком. Латунная и железная гильзы изготовляются по одному и тому же чертежу. Разница между ними состоит только в том, что на передней кромке закраины железной гильзы делают фаску (округление), которая устраняет строжку верхней гильзы по нижней при подаче патрона из магазина.

По боевым качествам плакированная томпаком железная гильза несколько отличается от латунной гильзы. В частности железные гильзы требуют большего усилия при их экстрагировании, что сказывается на живучести выбрасывателя. Однако патроны с железными гильзами полностью обеспечивают надежную работу не только винтовки, но и автоматического оружия, а также сохранение балистических свойств патрона.

Основное преимущество железных гильз — небольшая затрата цветного металла на их изготовление.

По наружному очертанию гильзы различают следующие части ее:

а) дульце *7* гильзы, служащее для соединения пули с гильзой;

б) скат *8* гильзы, являющийся переходной частью от дульца к корпусу гильзы;

в) конический корпус *9* гильзы, служащий для помещения заряда.

Степень конусности гильзы характеризуют обычно так называемым коэфициентом бутылочности, под которым понимают отношение среднего внутреннего диаметра гильзы к калибру оружия. При проектировании патрона и оружия стремятся обычно найти такое значение коэфициента бутылочности, при котором обеспечивается наивыгоднейший вес затвора и ствольной коробки, а следовательно, и вес всего оружия. Коэфициент бутылочности нашего 7,62-*мм* патрона равен 1,4.

Закраина *10* гильзы служит для упора патрона в вырез пенька ствола, чем обеспечивается определенное положение патрона в патроннике, а также для экстрагирования гильзы.

В дне гильзы имеется гнездо для помещения капсюля и перегородка, отделяющая капсюльное гнездо от внутреннего объема гильзы, в котором помещается заряд.

На перегородке имеются наковальня *11* и два затравочных отверстия *12*, через которые огонь от капсюля передается заряду.

Боевой заряд. Применяемый для снаряжения патронов с легкой пулей боевой заряд изготовляют из пороха марки ВЛ — бездымного, пироксилинового, трубчатого, с одним каналом.

Вес заряда, в зависимости от качества данной партии пороха, колеблется в пределах 3,0—3,25 *г*.

Максимальное давление допускается не более 2 940 *кг/см*^{2} для латунной гильзы и 3 050 *кг/см*^{2} для железной гильзы.

3. Патрон 7,62-*мм* калибра с тяжелой пулей обр. 1930 г.

Принятие на вооружение и внедрение в армию автоматического оружия произошло несколько позже принятия на вооружение винтовок. Однако в целях сохранения единого патрона автоматическое оружие принималось на вооружение того же калибра, что и винтовка.

Это привело к тому, что в балистическом отношении ручные пулеметы оказались хуже винтовок, так как наличие более короткого ствола у ручного пулемета по сравнению с винтовкой ведет к понижению начальной скорости пули. В том же направлении влияет и неполное сгорание пороха, являющееся результатом укорочения ствола.

То же самое наблюдается и у станковых пулеметов, так как легкая пуля, принятая для винтовки и достаточно устойчивая при стрельбе на малые дистанции, быстро теряет устойчивость при стрельбе на большие дистанции, характерные для станкового пулемета.

Стремление повысить балистические свойства станковых пулеметов привело к принятию на вооружение Красной Армии патрона 7,62-*мм* калибра с тяжелой пулей обр. 1930 г. (рис. 395). Однако при этом было установлено, что тяжелая пуля имеет преимущества в смысле устойчивости и действительности стрельбы по сравнению с легкой пулей только начиная с дистанции примерно 400 *м* и выше, причем с ростом дистанции преимущества эти проявляются более резко. До дистанции же в 400 *м* легкая пуля сохраняет свое превосходство (как результат влияния начальной скорости). Поэтому патрон 7,62-*мм* калибра с легкой пулей обр. 1908 г. был сохранен на вооружении и применяется для стрельбы из винтовок и ручных пулеметов. Стрельба же из станкового пулемета производится патронами 7,62-*мм* калибра с тяжелой пулей обр. 1930 г.

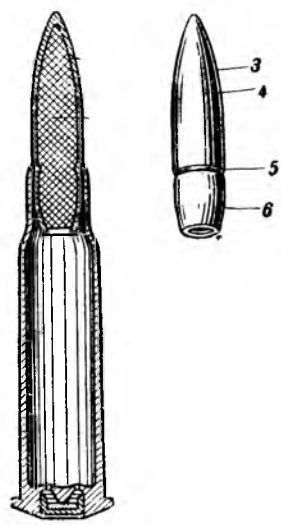


Рис. 395. Патрон 7,62-*мм* калибра с тяжелой пулей обр. 1930 г.

При стрельбе на малые дистанции, а также при отсутствии патронов с тяжелой пулей патроны с легкой пулей могут применяться для стрельбы и из станкового пулемета. С этой целью как открытый, так и оптический прицелы станкового пулемета имеют по две шкалы: шкалу для тяжелой пули и шкалу для легкой пули.

Гильза и капсюль для патрона с тяжелой пулей обр. 1930 г. применяются те же, что и для патрона с легкой пулей обр. 1908 г.

Боевой заряд, употребляемый для снаряжения патрона с тяжелой пулей, состоит из пороха марки ВТ — бездымного, пироксилинового, трубчатого, с одним каналом.

Вес заряда и величина максимального давления колеблются в тех же пределах, что и при патроне с легкой пулей.

В тяжелой пуле различают следующие части: а) головную часть, или оживал, *3*, б) среднюю часть — ведущую, *4*, в) хвостовую часть, имеющую вид усеченного конуса, *6*.

В таблице 69 приведены сравнительные данные легкой и тяжелой пули. Из таблицы следует, что тяжелая пуля по сравнению с легкой имеет:

1) повышенный вес и как следствие этого бо́льшую поперечную нагрузку; 2) хвостовая часть тяжелой пули оформлена в виде усеченного конуса. Повышение веса и особое устройство хвостовой части достигнуты за счет увеличения длины пули.

Правильное соотношение между длиной всей пули и ее головной и хвостовой частей, при котором достигается наибольшая устойчивость полета, выявляют опытным путем.

Как и легкая пуля, тяжелая пуля обр. 1930 г. имеет на ведущей ее части накатку *5*.

Для отличия патронов с тяжелой пулей от патронов других видов вершину тяжелой пули окрашивают желтой краской на длине 5 *мм*.

Таблица 69

Сравнительные данные легкой и тяжелой пули

Наименование	Легкая пуля обр. 1908 г.	Тяжелая пуля обр. 1930 г.
Вес пули в *г*	9,5—9,7	11,7—11,9
Поперечная нагрузка в *г/см²*	21	24,6
Длина пули в *мм*	28,2—28,6	33,0—33,4
Высота оживала в *мм*	18,4	18,83
Длина ведущей части	1,3 калибра	1,1 калибра
Высота усеченного конуса в *мм*	—	6,0—6,5

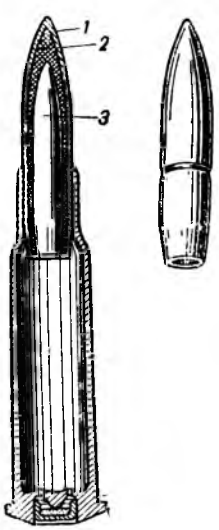


Рис. 396. Патрон 7,62-*мм* калибра с бронебойной пулей обр. 1930 г.

4. Патрон 7,62-*мм* калибра с бронебойной пулей обр. 1930 г.

Патроны с бронебойной пулей обр. 1930 г. снаряжают только в латунную гильзу.

Бронебойная пуля обр. 1930 г. (рис. 396) состоит из железной плакированной томпаком оболочки *1*, свинцовой рубашки *2* и стального сердечника *3*.

Свинцовая рубашка облегчает форсирование пули и уменьшает износ канала ствола оружия.

Сердечник предназначается для пробивания брони. Его изготовляют из специальной стали соответствующей термической обработки. По наружному виду бронебойная пуля подобна тяжелой пуле, т. е. она имеет оживал, ведущую часть и хвостовую часть в виде усеченного конуса. На ведущей части бронебойной пули имеется накатка. Вершину бронебойной пули обр. 1930 г. окрашивают в черный цвет.

Вес пули — в пределах 10,8—11,05 *г*.

Вес заряда подбирают с расчетом получить скорости пули в 25 *м* от дульного среза в пределах 795—810 *м/сек*.

Балистические свойства бронебойной пули на дистанции до 1 500 *м* близки к балистическим свойствам тяжелой пули.

5. Патрон 7,62-*мм* калибра с трассирующей пулей обр. 1930 г.

Гильза, капсюль и марка пороха для патрона с трассирующей пулей применяются те же, что и для патрона с тяжелой пулей.

Трассирующая пуля обр. 1930 г. (рис. 397) состоит из железной плакированной томпаком оболочки *1*, сердечника *2*, стаканчика *3* и колечка *5*.

Сердечник изготовляют из сурьмянистого свинца, для того чтобы получить необходимый вес пули, при котором балистические свойства трассирующей пули были бы одинаковы со свойствами других пуль, наряду с которыми она применяется.

Стаканчик служит для запрессовки в него трассирующего состава *4*. Сзади трассирующего состава запрессовывают слой воспламеняющего состава.

При выстреле пороховые газы, пройдя сквозь отверстие колечка, зажигают воспламеняющий состав, который в свою очередь воспламеняет трассирующий состав. При горении трассирующего состава колечко играет роль сопла, через которое раскаленные газы выходят в атмосферу и образуют огненный след, наблюдая за которым, можно судить о направлении полета пули.

Стаканчик и колечко изготовляют из латуни или железа, плакированного томпаком.

По наружному виду трассирующая пуля имеет оживал, ведущую часть и полукруглый задок. Ведущую часть трассирующей пули подобно легкой пуле делают слегка конической. На ведущей поверхности трассирующей пули нет накатки, так как это повело бы к отколам и трещинам в трассирующем составе.

Вес пули — 9,4 — 9,6 *г*.

Начальная скорость пули — 820—835 *м/сек*.

Вершину трассирующей пули окрашивают в зеленый цвет.

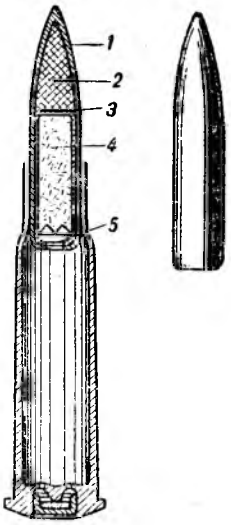


Рис. 397. Патрон 7,62-*мм* калибра с трассирующей пулей обр. 1930 г.

6. Патрон 7,62-*мм* калибра для револьвера обр. 1895 г. (Наган)

Патрон состоит из револьверной пули, гильзы, заряда и капсюля (рис. 398).

Револьверная пуля состоит из железной плакированной томпаком оболочки *1* и свинцово-сурьмянистого сердечника *2*. Пуля имеет ведущую часть и оживал. Вершина оживала как бы срезана, т. е. образует площадку диаметром около 4 *мм*. Назначение площадки — увеличение останавливающего действия пули.

Пулю закрепляют в гильзе так, чтобы площадка пули была на 1,25—2,5 *мм* ниже верхнего среза гильзы. Входя в кольцевое уширение канала ствола, передний срез гильзы обеспечивает наилучшие условия обтюрации при выстреле.

Гильза имеет закраину, которая обеспечивает правильное положение патрона в барабане револьвера.

Боевой заряд состоит из бездымного пороха марки П-45/1. Кроме того, револьверные патроны снаряжают и порохом марки Р (револьверный, пластинчатый). Вес заряда — 0,54 — 0,89 *г*. Скорость пули в 10 *м* от дульного среза — 265—285 *м/сек*.

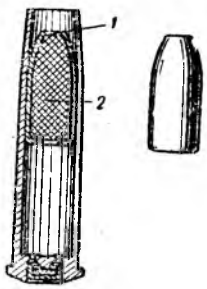


Рис. 398. Патрон 7,62-*мм* калибра для револьвера обр. 1895 г.

7. Пистолетный патрон 7,62-*мм* калибра

Патрон состоит из пистолетной пули, гильзы, заряда и капсюля (рис. 399).

Пуля состоит из сердечника, впрессованного в оболочку. Материал для изготовления пистолетной пули тот же, что и для револьверной пули.

Рис. 399. Пистолетный патрон 7,62-*мм* калибра

Пуля имеет ведущую часть и оживал. Последний описан двумя радиусами.

Гильзу изготовляют из латуни. Скат гильзы служит упором в скат патронника при досылании патрона в патронник. Для извлечения из

патронника после выстрела гильза имеет закраину, образованную круговой проточкой у заднего среза гильзы.

Заряд состоит из бездымного пороха марки П-45/1. Вес его — 0,48 — 0,52 *г*. Скорость пули в 10 *м* от дульного среза — 420—450 *м/сек*.

8. Патроны крупнокалиберных пулеметов и автоматических пушек

Устройство патронов и пуль для крупнокалиберных пулеметов принципиально (кроме геометрических размеров) ничем не отличается от устройства патронов и пуль малых калибров.

Устройство снарядов для 20—45-*мм* автоматических пушек тождественно с устройством артиллерийских снарядов (наличие ведущего пояска, взрывателей и пр.).

9. Действие пуль

Действие пули по живым целям (убойность пули) определяется способностью нарушения жизненных функций организма при попадании пули.

Для получения убойного эффекта необходимо, чтобы пуля при попадании в живую цель обладала определенным запасом кинетической энергии, т. е. имела определенную живую силу. Для вывода, например, человека из строя считают достаточным, если пуля обладает живой силой, равной 8 *кгм*. Этому требованию отвечает скорость движения легкой пули в 130 *м/сек* и скорость движения тяжелой пули в 120 *м/сек*. Из таблиц стрельбы найдем, что при стрельбе легкой пулей из станкового пулемета скорость ее на дистанции 2 200 *м* равна 170 *м/сек*, а скорость тяжелой пули на дистанции 4 000 *м* равна 150 *м/сек*. Следовательно, при стрельбе по человеку легкая и тяжелая пули сохраняют свою убойность на всех дистанциях в пределах нарезки прицела.

При стрельбе по крупным животным потребна величина живой силы пули до 21 *кгм*. Этому отвечает скорость легкой пули около 200 *м/сек* и скорость тяжелой пули около 180 *м/сек*. По таблицам стрельбы можно определить, что при этих условиях убойность легкой пули сохраняется на дистанции до 1 800 *м*, а тяжелой пули — до 3 000 *м*.

Энергия револьверной пули в 10 *м* от дульного среза равна 25 *кгм*, а пистолетной пули — 49 *кгм*. Этой энергии достаточно для того, чтобы в непосредственной близости вывести из строя любую живую цель.

В современных условиях боя живые цели обычно пользуются закрытиями. Поэтому особое значение приобретает пробивная способность пули, в частности ее бронебойное действие.

Пробивная способность пули зависит как от свойства преграды, так и от устройства пули и ее балистических свойств.

Пробивная способность пистолетной пули такова, что при стрельбе из пистолета обр. 1930 г. на дистанцию 25 *м* по преграде, состоящей из трех досок толщиной 25 *мм* каждая, поставленных на расстоянии 7—8 *см* одна от другой, все пули пробивают две доски без нарушения пульной оболочки. Все пули пробивают две доски и на дистанции 100 *м*, но при этом несколько нарушается пульная оболочка.

Пробивное действие револьверной пули близко к пробивному действию пистолетной пули.

Пробивная способность легкой пули обр. 1908 г. характеризуется следующими данными. В непосредственной близости легкая пуля, выпущенная из винтовки, пробивает:

стальную плиту	до	6	*мм*
железную плиту	„	12	„
слой гравия	„	120	„
„ песка или земли	„	700	„
„ мягкой глины	„	800	„
„ торфа	„	2 800	„
„ утрамбованного снега	„	3 500	„

слой соломы	до 4 000 *мм*
кирпичную стену	150—200 „
стену из дубового дерева	до 700 „
сосновые доски	35 досок толщиной 25 *мм* каждая

Так как скорость пули уменьшается с дальностью полета, то соответственно этому падает ее пробивная способность.

Пробивная способность бронебойной пули обр. 1930 г. характеризуется следующими данными. При стрельбе по легкой броне, толщиной 3—4 *мм*, броня пробивается до дистанции 1 200 *м*. Броня толщиной 7 *мм* до дистанции 400 *м* пробивается без отказа, на дистанции 600 *м* встречаются сквозные пробоины до 75%, на дистанции 800 *м* — менее половины, на дистанции 1 000 *м* броня не пробивается совершенно.

Бронебойное действие пули весьма сильно зависит от угла встречи. Так например, при угле отклонения траектории от нормали в 15° на дистанции 400 *м* сквозные пробоины в 7-*мм* броне встречаются в 60% случаев, а при угле 30° уже с дистанции 250 *м* бронебойная пуля обр. 1930 г. эту броню не пробивает.

Как уже было сказано, для бронебойной способности пули имеет значение качество материала, из которого она изготовлена, а также ее форма. Однако при очень высоких скоростях движения пули качество материала и форма пули оказывают менее сильное влияние на пробивную способность. Например, при скорости порядка 1 500 *м/сек* даже мягкая свинцовая пуля проявляет сильную бронебойную способность.

Что касается других видов пуль — трассирующих, пристрелочных, зажигательных, — то эффективность их действия определяется проявлением их особых свойств: для трассирующих пуль — продолжительностью и яркостью горения состава, а следовательно, длиной трассы; для пристрелочных — дальностью видимости разрыва пули; для зажигательных пуль — безотказностью воспламенения материалов, обладающих той или иной степенью горючести.

ГЛАВА IV

РУЧНЫЕ И РУЖЕЙНЫЕ ГРАНАТЫ

1. Ручные гранаты

Боевое применение ручных гранат. Ручная граната представляет собой разрывной снаряд осколочного или фугасного действия, приспособленный для бросания его рукой с целью поражения противника на ближних дистанциях (до 50 *м*).

„Ручная граната предназначается для поражения противника непосредственно перед ударом в штыки, при борьбе в окопах, убежищах, ходах сообщения, населенных пунктах, лесах и горах. Связки ручных гранат применяются для борьбы с танками, путем подбрасывания их под гусеницы танка“ (НСД-38, Ручные гранаты).

Появление первых ручных гранат относится к XV столетию. Первоначально ручные гранаты применялись главным образом при обороне и осаде крепостей и замков феодалов. Позднее (XVII век) ручные гранаты стали применяться и в полевой войне.

Первые типы ручных гранат представляли собой глиняные шары диаметром около 100 *мм*, снаряженные порохом и снабженные зажигательным шнуром. При отсутствии осколков глиняные гранаты оказывали на противника главным образом моральное действие. Позже для усиления действия гранат в оболочки их, кроме пороха, закладывали куски железа или свинца, а самые оболочки изготовляли из металла.

Толчком к развитию ручных гранат послужило появление бризантных взрывчатых веществ, которые при наличии металлической оболочки или специальной решетки обеспечили возможность получения большого числа малых осколков, обладавших скоростью до 1 000 *м/сек*, что значительно повышало эффективность ручных гранат.

Русско-японская война 1904—1905 гг., а затем война 1914—1918 гг. окончательно закрепили ручную гранату в системе вооружения всех современных армий как важное средство борьбы при наступлении и обороне.

Виды ручных гранат. Основные требования, предъявляемые к ним. По тактическому признаку ручные гранаты подразделяют на гранаты основного и специального назначения.

Гранаты основного назначения в свою очередь подразделяют на гранаты наступательные, оборонительные и оборонительно-наступательные.

Наступательные гранаты применяются в наступательном бою. Гранаты рассчитаны на поражение живой силы противника осколками, которые образуются при взрыве гранаты. Радиус разлета осколков не должен превышать 10—12 *м*; наименьшая дальность броска гранаты должна быть 20—25 *м*. При этом атакующему обеспечивается возможность продолжать движение вслед за брошенной гранатой. Наибольшая дальность бросания гранаты зависит от физической силы и искусства бойца и от веса гранаты. Последний для гранат наступательного типа не должен превышать 500 *г*.

Оборонительные гранаты применяются в оборонительном бою. Как и гранаты наступательного типа, оборонительные гранаты поражают живую силу противника осколками. Вес современных оборонительных гранат не более 600 *г*. Осколки их, по сравнению с осколками наступательных гранат, более массивны. Радиус разлета убойных осколков достигает 100 *м*. Поэтому бросание гранат этого типа производится, как правило, из-за закрытия.

Оборонительно-наступательные гранаты могут применяться как в оборонительном, так и в наступательном бою. Чаще всего такие гранаты получают из гранат наступательного типа путем добавления к последним специальной решетки или оборонительного чехла, осколки которых как наиболее массивные сохраняют убойную силу до 100 *м*.

Гранаты специального назначения зачастую конструктивно не отличаются от гранат основного назначения, а по их действию по целям они резко отличаются как от гранат основного назначения, так и между собой.

Различают следующие виды гранат специального назначения:

а) Фугасные гранаты, имеющие тонкостенный корпус, который снаряжается сильно действующим взрывчатым веществом. Гранаты имеют большой вес (до 2 *кг*). Применяются как подрывное средство.

б) Противотанковые гранаты, предназначаемые для борьбы с танками. Граната должна обладать сильным фугасным действием, обеспечивающим вывод танка из строя (разрушение гусениц, брони, повреждение механизмов управления, поражение людей); при этом должна быть обеспечена достаточная дальность бросания гранаты.

в) Химические гранаты, предназначаемые для борьбы с живой силой противника. Снаряжаются малостойкими отравляющими веществами.

г) Дымовые гранаты, являющиеся разновидностью гранат химических. Гранаты снаряжаются специальным составом, который при взрыве гранат дает облако дыма. При одновременном применении нескольких гранат возможно образование дымовой завесы.

д) Зажигательные гранаты, корпус которых наполняют специальным составом, при взрыве детонатора дающим вспышку пламени высокой температуры. Применяют как зажигательное средство и для очистки блиндажей и окопов от противника.

Существуют, кроме того, ручные гранаты комбинированного действия, например зажигательно-дымовые и др.

Чтобы произвести взрыв ручной гранаты, требуется взорвать заряд ее, состоящий из определенного количества взрывчатого вещества. Это осуществляется при помощи специального взрывателя. В зависимости от устройства взрывателя различают гранаты дистанционного и ударного действия.

В гранатах дистанционного действия взрыватель устроен так, что между капсюлем-воспламенителем и детонатором находится пороховой состав (замедлитель), горящий в течение определенного промежутка времени (не менее 3,5 секунды). Воспламенение этого состава происходит в момент бросания гранаты. В момент когда граната достигает цели, огонь сообщается детонатору, последний взрывается, а вместе с ним взрывается и граната[1].

Преимущества гранаты дистанционного действия: а) независимость взрыва гранаты от условий местности и характера цели; б) относительная безопасность, так как граната с воспламенившимся взрывателем может быть брошена на расстояние раньше, нежели огонь сообщится детонатору.

Недостатки гранаты дистанционного действия: а) отсутствие мгновенного взрыва гранаты при встрече с подвижной целью, которая вследствие этого может уйти из опасной зоны взрыва; б) при большом времени от момента воспламенения до момента взрыва нерастерявшийся противник может бросить гранату обратно к гранатометчику; сокращение же этого времени сильно уменьшает безопасность гранаты; в) возможность мгновенного сгорания порохового состава — замедлителя в случае неправильного снаряжения гранаты.

В гранатах ударного действия капсюль-воспламенитель и детонатор не разделяют. Огонь от первого непосредственно передается второму. Поэтому граната взрывает мгновенно при падении или ударе о преграду, что не дает времени противнику принять меры защиты. Мгновенность действия гранаты ударного типа делает ее удобной для применения по танкам и бронемашинам, а также для бросания гранат с хода из танков и бронемашин.

К недостаткам гранаты ударного действия относится возможность отказа ее при падении на мягкий грунт (торф, снег). Недостаток этот может быть устранен применением более чувствительного взрывателя, что, однако, делает гранату крайне опасной в обращении.

Вообще следует заметить, что безопасность гранаты ударного действия заметно ниже безопасности гранаты дистанционного действия. Поэтому большинство современных ручных гранат делают дистанционного действия.

К современным ручным гранатам предъявляют следующие основные требования:

1) вес гранаты должен быть не более 0,5 *кг*;

2) при данном весе гранаты должна быть обеспечена достаточная эффективность действия (в соответствии с типом гранаты);

3) полная надежность действия и безопасность в обращении;

4) наличие специального предохранителя, без предварительного выключения которого действие гранаты невозможно;

5) изготовление гранаты должно быть простым и дешевым.

На вооружении Красной Армии состоят следующие образцы ручных гранат:

а) граната обр. 1933 г. (РГД-33);

б) граната обр. 1914/30 г.;

в) граната марки Ф-1.

---

[1] Установившийся в литературе и на практике термин „граната дистанционного действия" является, строго говоря, неправильным, так как время горения порохового состава — замедлителя — является вполне определенным. Этому случаю больше отвечает название „граната с замедленным действием".

2. Ручная граната обр. 1933 г. (РГД-33)

Боевые свойства и назначение гранаты. Ручная граната обр. 1933 г. (рис. 400) принадлежит к типу осколочных наступательно-оборонительных гранат дистанционного действия. Она снабжена оборонительным чехлом, применяющимся только при бросании гранаты из окопа или укрытия. В остальных случаях оборонительный чехол снимают.

Общий вес гранаты с нормальным оборонительным чехлом — 750 *г*, с облегченным чехлом — 625 *г*, без оборонительного чехла — 500 *г*. Средняя дальность бросания гранаты — 30 — 40 *м*. Время горения дистанционного состава — 3,5 — 4 секунды. Число осколков, получающихся при разрыве гранаты с оборонительным чехлом,— 2 200, без оборонительного чехла—2000. Радиус убойного действия осколков с оборонительным чехлом — 25 *м*, без оборонительного чехла — 5 *м*. Радиус разлета осколков гранаты с оборонительным чехлом — 100 *м*, без оборонительного чехла — 25 *м*.

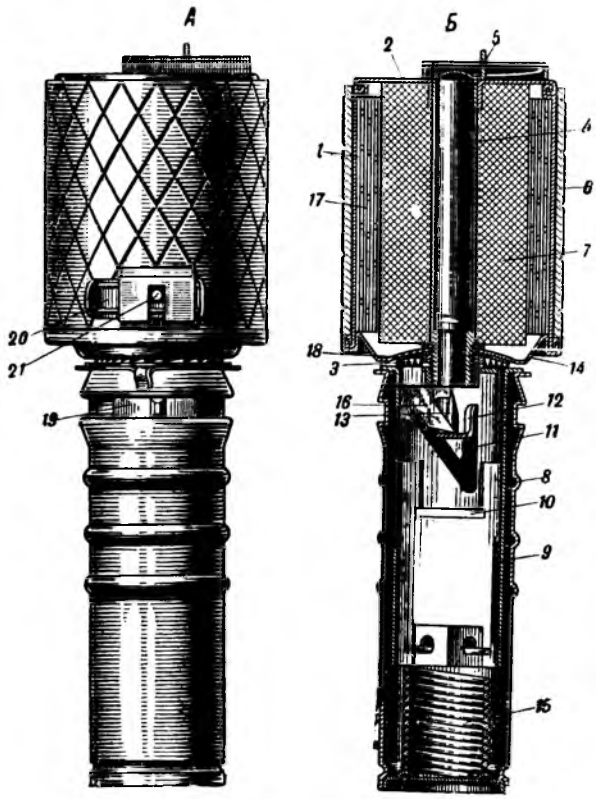


Рис. 400. Ручная граната обр 1933 г. (РГД-33):

А — общий вид; *Б* — продольный разрез;

1 — корпус; *2* — крышка корпуса; *3* — тормозящая звездка; *4* — центральная трубка; *5* — задвижка запала; *6* — оборонительный чехол; *7* — разрывной заряд; *8* — наружная трубка рукоятки; *9* — внутренняя трубка рукоятки; *10* — вкладыш; *11* — прорези; *12* — боевая скоба; *13* — ударник; *14* — дно корпуса; *15* — боевая пружина; *16* — предохранитель запала; *17* — лента; *18* — опорные гайки; *19* — задвижка предохранителя; *20* — задвижка чехла; *21* — штифт для закрепления чехла

Устройство гранаты. Граната состоит из корпуса, оборонительного чехла, разрывного заряда, рукоятки, ударного механизма и запала.

Внутри корпуса *1* гранаты помещаются: разрывной заряд *7*, свернутая в три-четыре слоя металлическая лента *17* с квадратной насечкой для получения осколков при взрыве гранаты, и сквозная центральная трубка *4*, в которую при заряжании гранаты вставляют запал. Центральная трубка *4* нижним концом выступает из дна *14* корпуса на *7*—8 *мм*, образуя навинтованный пенек, на который при сборке навинчивают рукоятку гранаты. Этот конец трубки укрепляют в дне корпуса двумя опорными гайками — внутренней и наружной. Под наружной гайкой на конец трубки надевают тормозящую звездку *3*, которая своими зубцами препятствует свинчиванию рукоятки. На верхней крышке корпуса помещают задвижку *5*, которая закрывает отверстие центральной трубки с вставленным в нее запалом.

Оборонительный чехол *6* служит для усиления убойного действия гранаты. Для облегчения разрыва на наружной поверхности чехла делают насечку. Чехол надевают на корпус гранаты и закрепляют на нем при помощи задвижки *20* и штифта *21*.

Рукоятка служит для удобства действия гранатой и для помещения ударного механизма. Она состоит из двух трубок: наружной *8*, подвижной, и внутренней *9*, неподвижной. Внутреннюю трубку при помощи вкладыша *10* соединяют с корпусом гранаты. В верхней части

наружной трубки рукоятки делают поперечную прорезь для прохода соска предохранительной чеки и для красного сигнала.

Ударный механизм гранаты служит для воспламенения капсюля-воспламенителя запала. Он состоит из боевой скобы *12* с ударником *13*, вкладыша *10*, боевой пружины *15*, предохранителя *16* запала и предохранительной чеки с задвижкой *19*. Боевая скоба с ударником (рис. 401) своими загнутыми концами прикреплена к наружной (подвижной) трубке рукоятки, а выпуклой стороной обращена внутрь рукоятки. Вкладыш (рис. 402) неподвижно укрепляется во внутренней трубке рукоятки. Вверху он имеет навинтованное отверстие для навинчивания на пенек центральной трубки корпуса гранаты. В стенках вкладыша имеются продольные прорези, по которым скользят загнутые концы боевой скобы при постановке ударника на боевой и предохранительный взводы. Кроме того, вкладыш имеет поперечный вырез для помещения соска предохранительной чеки.

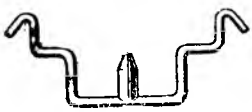


Рис. 401. Боевая скоба с ударником

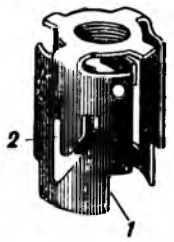


Рис. 402. Вкладыш: *1* — прорезь для постановки ударника на предохранительный взвод; *2* — прорезь, в которой находится ударник при спущенном положении

Боевую пружину верхним своим концом прикрепляют к нижней части внутренней (неподвижной) трубки рукоятки, а нижним концом — ко дну наружной (подвижной) трубки. После сборки боевая пружина получает предварительное растяжение и закручена на четверть оборота вправо, вследствие чего она прижимает наружную трубку вперед доотказа и стремится повернуть ее влево. При оттягивании наружной трубки вниз (назад) вместе с ней отходит и боевая скоба с ударником. Пружина при этом растягивается еще больше, и тем самым в ней создается определенный запас энергии. При опускании наружной трубки пружина подает ее вперед (вверх) и сообщает наружной трубке вместе с боевой скобой и ударником энергию, достаточную для разбития капсюля-воспламенителя.

Предохранитель запала помещается внутри вкладыша, у верхнего его конца, и состоит из серьги, с которой при помощи чеки соединяется сапожок. Двуперая пружина удерживает верхнее плечо сапожка поперек навинтованного отверстия вкладыша. При положении ударника на предохранительном взводе запал легко входит в отверстие центральной трубки, отводя в сторону сапожок своим нижним концом. Если же ударник находится в спущенном положении, то сапожок предохранителя упирается в боевую скобу, вследствие чего запал не входит до конца в отверстие центральной трубки. Тем самым исключается возможность воспламенения капсюля в случае заряжания гранаты при спущенном положении ударника.

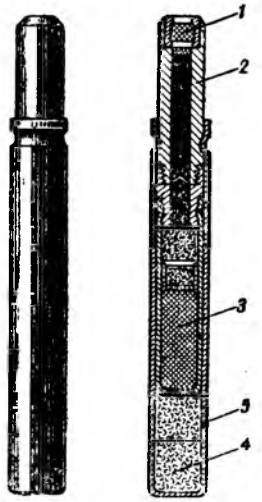


Рис. 403. Запал

Запал (рис. 403) состоит из капсюля-воспламенителя *1*, дистанционного состава *2*, капсюля-детонатора *3* и дополнительного детонатора *4*. Последний служит для усиления действия капсюля-детонатора. Запал собран в гильзе *5*.

Работа деталей и механизмов гранаты при заряжании. Для заряжания гранаты надо поставить ударный механизм на предохранительный взвод и вставить запал. Для этого необходимо (рис. 404):

1) сдвинуть предохранительную чеку влево доотказа; при этом сосок предохранительной чеки выйдет из поперечного выреза вкладыша, чем достигается расцепление наружной трубки рукоятки от внутренней;

2) оттянуть наружную трубку назад доотказа, повернуть ее вправо и дослать вперед; боевая пружина при этих действиях растягивается и закручивается вправо; боевая скоба переходит из глубоких продольных прорезей вкладыша в мелкие, оттягивает вниз ударник и освобождает сапожок предохранителя запала; красный сигнал открыт, граната на боевом взводе;

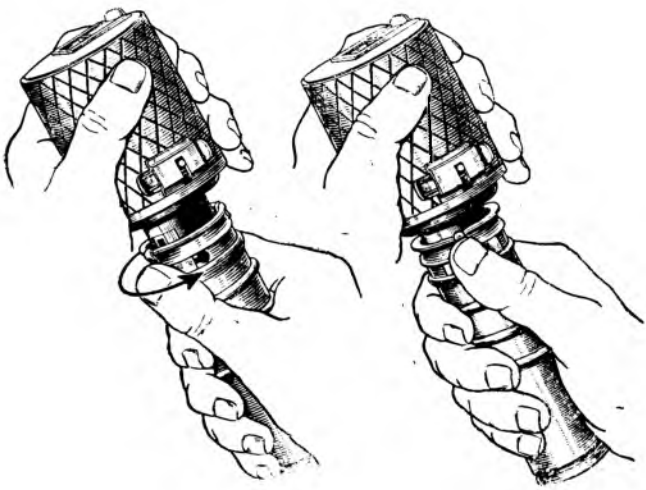


Рис. 404. Постановка гранаты на боевой взвод (левый рисунок) и предохранительный взвод (правый рисунок)

3) сдвинуть предохранительную чеку вправо доотказа; при этом сосок предохранительной чеки входит в нижний поперечный вырез вкладыша и запирает боевую скобу; красный сигнал закрыт, граната на предохранительном взводе.

Чтобы вставить запал в гранату, необходимо:

1) взять гранату левой рукой за рукоятку, крышкой корпуса вверх;

2) отодвинуть правой рукой задвижку запала так, чтобы открылось отверстие центральной трубки;

3) вставить запал в отверстие центральной трубки (капсюлем-воспламенителем вниз) до упора его в сапожок предохранителя запала (рис. 405);

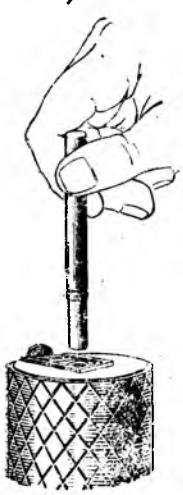


Рис. 405. Как вставить запал в отверстие центральной трубки

4) дослать запал на место (рис. 406); сапожок предохранителя при этом отклонится вниз и в сторону; капсюль-воспламенитель запала входит внутрь вкладыша и становится против взведенного ударника;

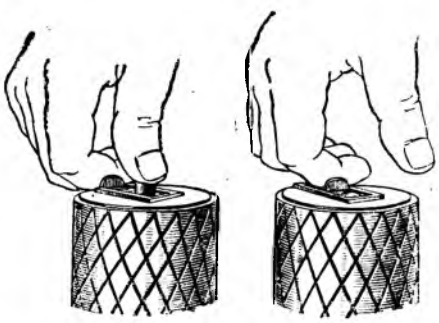


Рис. 406. Как дослать запал

5) задвинуть задвижку так, чтобы она закрепила запал.

Граната заряжена и готова к действию.

Работа деталей и механизмов гранаты при бросании. Чтобы бросить гранату в цель, необходимо:

1) взять гранату за рукоятку, как показано на рис. 407;

2) большим пальцем сдвинуть предохранительную чеку влево доотказа; при этом сосок ее выйдет из нижнего поперечного выреза вкладыша и освободит наружную трубку рукоятки от сцепления с внутренней трубкой и вкладышем; красный сигнал открыт, граната на боевом взводе;

3) не снимая большого пальца с предохранительной чеки, сильно размахнуться и бросить гранату в цель.

При броске гранаты корпус ее вместе с внутренней трубкой рукоятки по инерции отходит от наружной трубки рукоятки; боевая пружина растягивается; боевая скоба отходит назад и оттягивает ударник; внутренняя трубка рукоятки вместе с корпусом гранаты под действием

боевой пружины поворачивается вправо, вследствие чего боевая скоба своими загнутыми концами становится против глубоких продольных вырезов вкладыша.

После отрыва гранаты при броске от руки боевая пружина сжимается, наружная трубка рукоятки вместе с боевой скобой и ударником двигается вперед и воспламеняет капсюль-воспламенитель, который зажигает дистанционный состав запала. Когда огонь доходит до капсюля-детонатора, последний взрывается и взрывает разрывной заряд гранаты. Граната разрывается.

Для бросания гранаты без оборонительного чехла необходимо, держа гранату на предохранительном взводе (красный сигнал закрыт), сдвинуть задвижку чехла вправо и снять оборонительный чехол.

При бросании гранаты следует помнить, что ударный механизм гранаты действует безотказно только при резком броске ее.

Для поражения танков необходимо применять связки из 5—6 гранат. Для этого гранаты, заряженные и поставленные на предохранительный взвод, крепко связывают по корпусам проволокой или бечевкой. При подходе танка боец отодвигает предохранительную чеку у средней гранаты (запальной) и бросает связку под гусеницы танка.

При достаточной натренированности бойца возможная дальность броска связки гранат — около 20 *м*.

Рис. 407. Как открыть предохранительную чеку и бросить гранату

3. Ручная граната обр. 1914/30 г.

Боевые свойства и назначение гранаты. Ручная граната обр. 1914/30 г. принадлежит к типу осколочных наступательно-оборонительных гранат дистанционного действия. Граната снабжена оборонительным чехлом.

Общий вес заряженной гранаты с оборонительным чехлом 800 *г*, без оборонительного чехла — 700 *г*. Средняя дальность бросания гранаты 30—40 *м*. Время горения дистанционного состава — 3,5—5 секунд. Число осколков, получающихся при разрыве гранаты с оборонительным чехлом,— около 3 000, без оборонительного чехла — около 2 800.

Радиус убойного действия осколков и общий радиус разлета их те же, что и у гранаты обр. 1933 г.

Устройство гранаты. Граната состоит из корпуса *1* с рукоятко́й *4*, разрывного заряда *20*, ударного механизма, запала *21* и оборонительного чехла. Рукоятка соединяется с корпусом горловиной *3* (рис. 408).

Ударный механизм состоит из ударника *6* с бойком и курком *9*, боевой пружины *8*, предохранительной чеки *11*, рычага *12* боевого взвода с осью *14* и зацепом *13*, пружины *15* рычага и кольца *16*. Задний конец ударника имеет вид петли, в которую входит зацеп рычага боевого взвода.

Запал (рис. 409) состоит из капсюля-воспламенителя *1*, дистанционного состава *3* и капсюля-детонатора *4*. Для выхода газов, образующихся при сгорании дистанционного состава, корпус взрывателя имеет отверстия *2*. При сборке и снаряжении гранат на заводе отверстия эти закрываются мастикой. Запал хранится и переносится отдельно от гранаты; вкладывается он в воронку гранаты при заряжании.

Оборонительный чехол (рис. 410) имеет вырез *1* для прохода курка и предохранительной чеки при надевании чехла на корпус гранаты, и захват *2* для закрепления чехла.

Взаимодействие деталей гранаты. При нажатии на рычаг боевого взвода пружина *15* рычага сжимается, зацеп *13* отводит ударник *6* назад, боевая пружина *8* сжимается между неподвижной муфтой *7* и курком *9* (рис. 408). Если теперь снять кольцо *16*, которое при бросании гранаты остается в руке бойца, и отпустить рукоятку, то рычаг

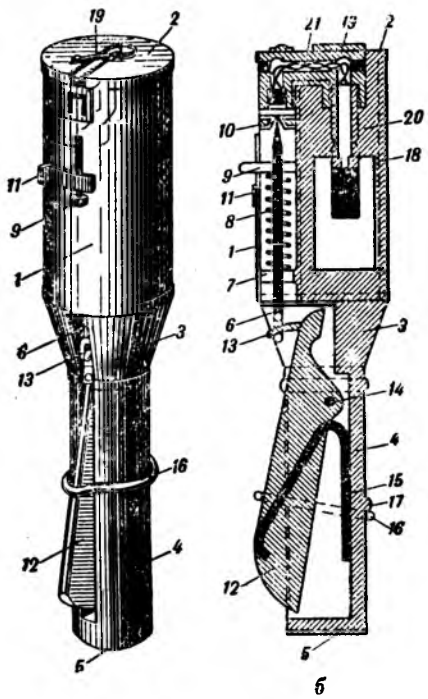


Рис. 408. Ручная граната обр. 1914/30 г.:

а — общий вид; *б* — продольный разрез;

1 — корпус; *2* — крышка корпуса; *3* — горловина; *4* — рукоятка; *5* — дно рукоятки; *6* — ударник; *7* — муфта ударника; *8* — боевая пружина; *9* — курок; *10* — направляющая муфточка; *11* — предохранительная чека; *12* — рычаг боевого взвода; *13* — зацеп; *14* — ось рычага боевого взвода; *15* — пружина рычага боевого взвода; *16* — кольцо; *17* — упор кольца; *18* — решетка; *19* — дверца; *20* — разрывной заряд; *21* — запал

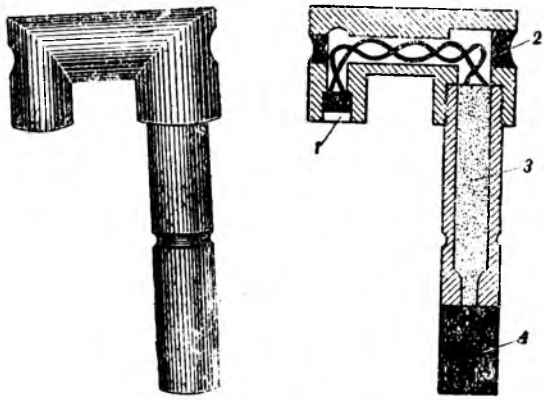


Рис. 409. Запал

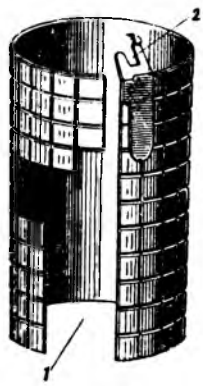


Рис. 410. Оборонительный чехол

боевого взвода под действием своей пружины поднимется и освободит ударник. Боевая пружина, разжимаясь, толкает ударник вперед. Боек ударника ударяет по капсюлю-воспламенителю и воспламеняет его. Огонь через дистанционный состав передается капсюлю-детонатору. Последний взрывает разрывной заряд. Граната разрывается.

4. Ручная граната марки Ф-1

Боевые свойства и назначение гранаты. Граната марки Ф-1 (рис. 411) принадлежит к типу осколочных оборонительных гранат дистанционного действия.

Общий вес гранаты — 700 *г*. Дальность бросания — 35—45 *м*. Время горения дистанционного состава — 3,5—4,5 секунды. Число осколков,

получающихся при разрыве гранаты, — около 1 000. Радиус убойного действия осколков — около 200 *м*.

Устройство гранаты. Граната состоит из корпуса, разрывного заряда и взрывателя.

Корпус *1* служит для соединения частей гранаты и для поражения противника осколками при взрыве. Для увеличения числа осколков поверхность корпуса делают рифленой.

Взрыватель состоит из запала и воспламеняющего (ударного) механизма, собранных вместе в остове *4* взрывателя. В стенках остова имеются отверстия для шарика-предохранителя и предохранительной чеки.

Запал состоит из капсюля-воспламенителя *5*, дистанционного состава *6* и капсюля-детонатора *7*.

Воспламеняющий механизм состоит из ударника *8*, боевой пружины *11*, шарика-предохранителя *10*, предохранительного колпачка *12* с наружным рычагом *14*, пружины *13* колпачка и предохранительной чеки *15* с кольцом.

Ударник помещается внутри остова. Внизу ударник имеет боек, а сбоку — полукруглый выем для шарика-предохранителя.

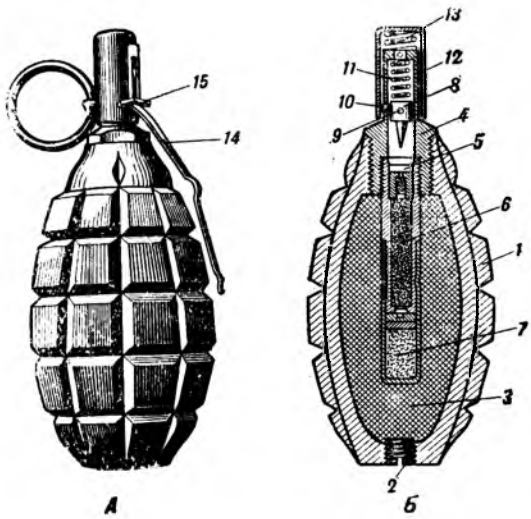


Рис. 411. Ручная граната марки Ф-1:

А — общий вид; *Б* — продольный разрез;

1 — корпус гранаты; *2* — чугунная пробка; *3* — разрывной заряд; *4* — остов взрывателя; *5* — капсюль-воспламенитель; *6* — пороховой состав; *7* — капсюль-детонатор; *8* — ударник; *9* — отверстие в ударнике для предохранительной чеки; *10* — шарик-предохранитель; *11* — боевая пружина; *12* — предохранительный колпачок; *13* — пружина колпачка; *14* — наружный рычаг; *15* — предохранительная чека

Граната Ф-1 хранят и переносят без взрывателей, с ввинченными вместо них холостыми пробками. Воспламеняющий механизм взрывателя всегда находится на боевом взводе: ударник взведен, боевая пружина сжата. Ударник удерживается во взведенном положении предохранительной чекой, которая проходит через отверстия остова и ударника, и шариком-предохранителем, который одной своей половиной входит в отверстие остова, а другой — в выем ударника. В таком положении шарик удерживается предохранительным колпачком.

Заряжание гранаты. Для заряжания гранаты необходимо:

1) вывинтить холостую пробку;

2) взять взрыватель и осторожно ввинтить его в отверстие гранаты.

Бросание гранаты. Для бросания гранаты необходимо:

1) взять гранату правой рукой и пальцами крепко прижать наружный рычаг предохранительного колпачка к корпусу гранаты;

2) удерживая рычаг, левой рукой вытянуть предохранительную чеку; при этом ударник и предохранительный колпачок освобождаются, но ударник остается на боевом взводе, удерживаемый шариком-предохранителем;

3) размахнуться и бросить гранату; при этом наружный рычаг освобождается, колпачок под действием своей пружины сдвигается и освобождает шарик-предохранитель; ударник силой боевой пружины выталкивает шарик из своего выема в отверстие в стенке остова, ударяет бойком по капсюлю и воспламеняет его; огонь через дистанционный состав передается капсюлю-детонатору; граната разрывается.

5. Ружейные гранаты

Боевое применение ружейных гранат. Стремление повысить дальность действия гранаты привело к созданию ружейной гранаты. Ружейная граната представляет собой разрывной снаряд осколочно-фугасного действия, приспособленный для бросания его при помощи ружья на дальность до 1 000 *м*. Она предназначается для поражения осколками живых, преимущественно закрытых, целей, недоступных для ружейного и пулеметного огня.

Появление первых ружейных гранат относится к XVII веку. Однако широкое развитие они получили только в начале XX столетия, особенно в войну 1914—1918 гг.

Виды ружейных гранат. По способу бросания ружейные гранаты подразделяют на гранаты шомпольного или хвостового типа и на гранаты, бросание которых производится с помощью специальной мортирки, укрепленной на дульной части винтовки.

Граната шомпольного типа представляет собой вид обычной ручной гранаты, снабженной длинным металлическим стержнем (шомполом), который вставляют в канал ствола винтовки. Выстрел из винтовки, заряженной шомпольной гранатой, производят холостым патроном. Давлением пороховых газов при выстреле граната выбрасывается под углом возвышения, отвечающим определенной дальности. При полете гранаты в воздухе шомпол играет роль стабилизатора, т. е. он обеспечивает направление полета гранаты головной частью вперед.

Ружейная граната, выбрасываемая при помощи специальной мортирки, чаще всего имеет вид снаряда небольшого калибра.

По характеру устройства взрывателя ружейные гранаты подразделяются на гранаты ударного и дистанционного действия. В последнем случае время горения дистанционного состава может быть постоянным или переменным.

На вооружении современных армий ружейные гранаты ударного и дистанционного действия, бросаемые при помощи мортирки, встречаются одинаково часто. В СССР на вооружении Красной Армии состоит ружейная граната дистанционного действия системы Дьяконова.

6. Ружейный гранатомет и ружейная граната, состоящие на вооружении Красной Армии

Устройство и боевые свойства ружейного гранатомета. Гранатомет (рис. 412) состоит из мортирки, надеваемой вместо штыка на ствол 7,62-*мм* винтовки, сошки и угломера-квадранта.

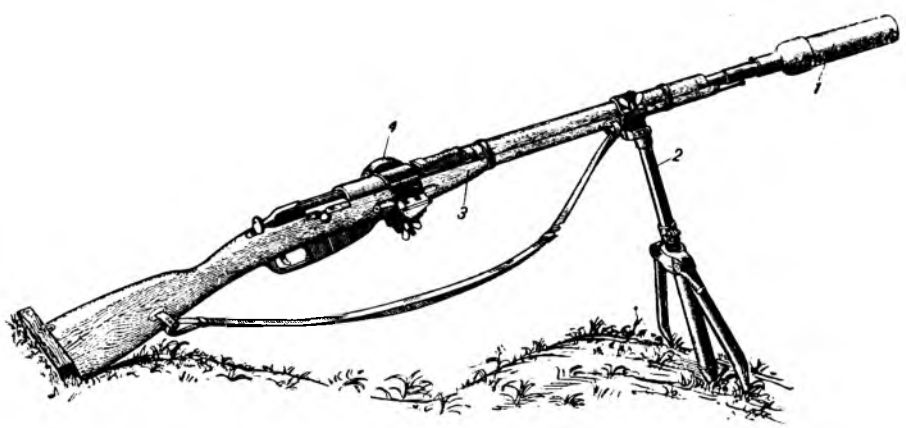


Рис. 412. Общий вид ружейного гранатомета:

1 — мортирка; *2* — сошка; *3* — винтовка; *4* — угломер-квадрант

Мортирка (рис. 413) служит для направления полета гранаты. Она состоит из ствола, соединительной чашки и шейки. Ствол внутри имеет три винтовых нареза, которые придают гранате вращательное движение для увеличения ее устойчивости при полете.

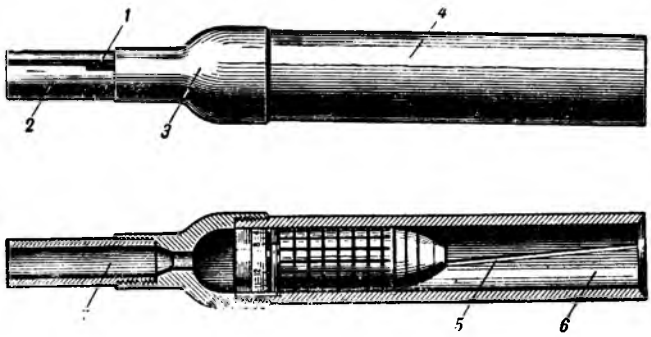


Рис. 413. Мортирка:

1 — коленчатая прорезь; *2* — шейка; *3* — соединительная чашка; *4* — ствол; *5* — нарез; *6* — канал ствола; *7* — канал шейки

Сошка (рис. 414) служит для изменения положения винтовки при вертикальной наводке гранатомета и является упором для винтовки. Сошка состоит из двух ножек с поперечной связью, стойки и обоймы. Стойка имеет головку с двумя пружинами для уменьшения действия отдачи при выстреле.

Угломер-квадрант (рис. 415) укрепляют на винтовке в выемах ложи. Состоит он из угломера, квадранта и хомутика. Угломер служит для горизонтальной наводки гранатомета и укрепляется с правой стороны хомутика. Одно малое деление шкалы угломера равно 20 „тысячным". В передней части угломера на оси укреплена визирная линейка с прорезью и мушкой для визирования при наводке. При установке указателя линейки на нулевое деление шкалы угломера линейка становится параллельно оси мортирки.

Квадрант служит для придания гранатомету при вертикальной наводке углов возвышения и склонения. Он укреплен с левой стороны хомутика и состоит из коробки, маятника и шкалы углов возвышения и склонения. Коробка укреплена на хомутике неподвижно. Маятник укреплен внутри коробки и свободно вращается на оси. Для придания маятнику вертикального положения он имеет на конце грузик. Шкала квадранта (в градусах) укреплена на маятнике. Нижняя часть шкалы с цифрами от 0 до 45 служит для придания гранатомету углов возвышения, верхняя — с цифрами от 0 до 15 — для придания углов склонения.

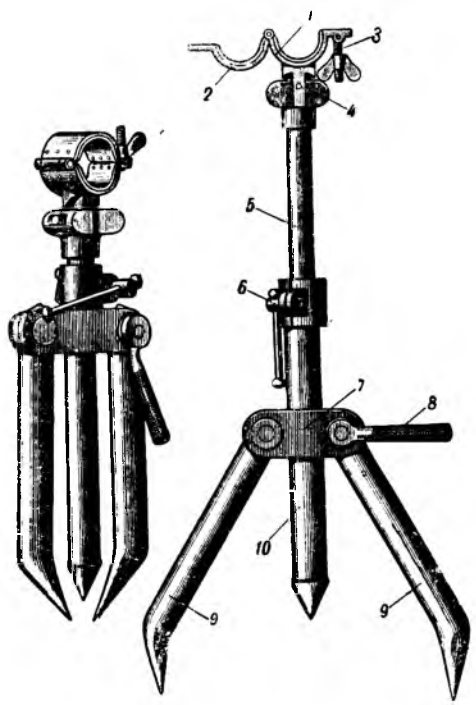


Рис. 414. Сошка (обр. 1930 г.):

1 — обойма; *2* — откидная наметка обоймы; *3* — зажимной винт с барашком; *4* — головка; *5* — внутренняя труба стойки; *6* — зажим стойки; *7* — поперечная связь; *8* — зажим ножек; *9* — ножки; *10* — наружная труба стойки

При горизонтальном положении гранатомета установочная черта окна квадранта должна стоять против нулевого деления шкалы.

Хомутик служит для укрепления угломера-квадранта на винтовке.

Стрельба из ружейного гранатомета производится осколочной гранатой дистанционного действия калибра 40,6 *мм*. Выбрасывание гранаты из мортирки производится давлением пороховых газов, образующихся при выстреле из винтовки боевым патроном.

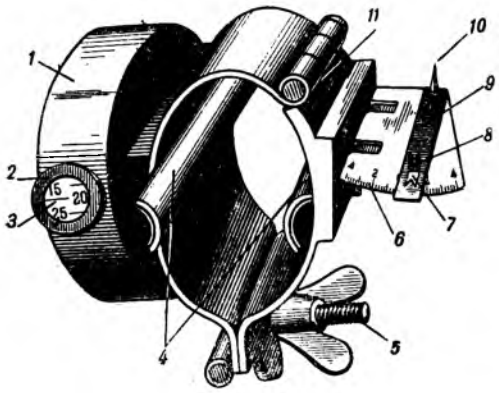


Рис. 415. Угломер-квадрант (обр. 1937 г.):

1 — квадрант; *2* — окно квадранта; *3* — шкала углов возвышения и склонения; *4* — опорные пластинки; *5* — зажимной винт с барашком; *6* — угломерная шкала; *7* — окно с указателем: *8* — прорезь; *9* — визирная линейка; *10* — мушка; *11* — откидная часть хомута

Дальность полета гранаты при стрельбе без дополнительного заряда — до 300 *м*, с дополнительным зарядом — до 900 *м*. Начальная скорость гранаты с дополнительным зарядом — 110 *м/сек*, без дополнительного заряда — 54 *м/сек*. Полное время горения дистанционного состава — 12 секунд.

Число осколков при взрыве гранаты 300 — 350. Убойное действие осколков — до 50 *м*; разлет осколков — до 300 *м*.

Скорострельность гранатомета — 6—8 выстрелов в минуту.

Общий вес ружейного гранатомета — 8,2 *кг*, вес гранаты — 350 *г*.

В бою гранатомет обслуживается гранатометчиком и его помощником.

Устройство ружейной гранаты. Ружейная граната (рис. 416) состоит из корпуса, головки, центральной трубки, поддона, наперстка, разрывного заряда, дистанционной трубки с обтюратором, зажимной гайки и дополнительного заряда.

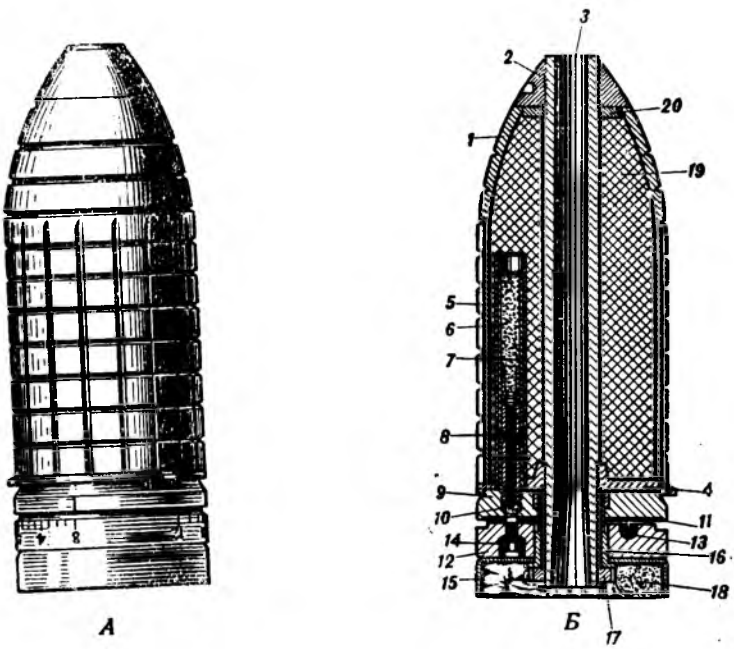


Рис. 416. Ружейная граната:

А — общий вид; *Б* — продольный разрез;

1 — корпус; *2* — головка; *3* — центральная трубка; *4* — поддон с ведущими выступами; *5* — наперсток; *6* — гильза детонатора; *7* — детонирующее вещество; *8* — замедлитель; *9* — тарель; *10* — пороховая мякоть; *11* — суконный кружок; *12* — дистанционное кольцо; *13* — пороховая запрессовка в дистанционном кольце; *14* — пороховой столбик; *15* — обтюратор; *16* — соединительная втулка; *17* — зажимная гайка; *18* — дополнительный заряд; *19* — взрывчатое вещество; *20* — гайка головки

Корпус *1* служит для помещения разрывного заряда и поражения противника осколками при взрыве. Сверху корпус закрывается головкой *2*. Снизу корпус закрыт поддоном *4*, который имеет три ведущих выступа для движения по нарезам мортирки и для сообщения гранате вращательного движения. В боковом отверстии поддона укреплен наперсток *5*, входящий в разрывной заряд.

Центральная трубка *3* служит для прохода пули при выстреле. Она укреплена в корпусе головкой и поддоном.

Дистанционная трубка служит для передачи огня капсюлю-детонатору через определенный промежуток времени, потребный для полета гранаты на заданную дальность. Она укреплена внизу корпуса на центральной трубке и состоит из дистанционного кольца *12*, тарели *9*, замедлителя *8*, детонатора *7* и соединительной втулки *16* с гайкой.

Рис. 417. Дистанционное кольцо

Дистанционное кольцо (рис. 417) на верхней плоскости имеет кольцевую выточку, в которой помещается дистанционный состав (спрессованный порох). На нижней плоскости кольцо имеет сбоку запальное отверстие, заполненное спрессованным порохом. Через запальное отверстие при выстреле воспламеняется дистанционный состав.

На боковой поверхности кольца нанесены деления с цифрами от 3 до 12, определяющие время горения дистанционной трубки в секундах.

Тарель закрепляют во втулке неподвижно. Она прикрывает дистанционное кольцо сверху. Тарель имеет боковое отверстие для замедлителя. Сбоку на тарели нанесена установочная черта для установки по ней делений дистанционного кольца.

Замедлитель служит для передачи огня от дистанционного состава к детонатору.

Обтюратор *15* (рис. 416) служит для помещения в нем дополнительного заряда *18* и противодействия прорыву пороховых газов при выстреле между стенками канала мортирки и гранатой. Загнутые края бокового отверстия обтюратора входят в запальное отверстие дистанционного кольца; поэтому при установке кольца обтюратор вращается вместе с ним, а запальное отверстие всегда остается открытым.

Рис. 418. Предохранительная коробка

Дополнительный заряд служит для увеличения дальности полета. Он состоит из бездымного пороха (вес около 3 *г*), помещенного в шелковый мешочек. Стрельба с дополнительным зарядом производится на дальность 300 *м* и выше.

Зажимная гайка *17* служит для укрепления на центральной трубке собранных на втулке *16* дистанционной трубки и обтюратора.

Для предохранения от сырости и других вредных влияний гранату помещают в предохранительную коробку (рис. 418).

Работа деталей гранаты при заряжании и выстреле. Для заряжания и производства выстрела из гранатомета необходимо:

1) вскрыть предохранительную коробку и извлечь из нее гранату;

2) установить дистанционное кольцо гранаты на деление, отвечающее определенной дальности стрельбы;

3) вставить гранату в мортирку так, чтобы ведущие выступы поддона оказались в нарезах ствола мортирки;

4) зарядить винтовку боевым патроном и произвести выстрел.

При выстреле пуля, пройдя канал ствола винтовки, входит в канал центральной трубки гранаты, а пороховые газы заполняют внутренний объем соединительной чашки и обтюратор. Под давлением газов загнутые края обтюратора расширяются и плотно прижимаются к стенкам ствола мортирки, устраняя возможность прорыва газов. Одновременно газы оказывают давление на дно обтюратора, воспламеняют спрессованный порох в запальном отверстии дистанционного кольца и выбрасывают гранату из мортирки.

Если в обтюраторе гранаты находится дополнительный заряд, то от сгорания его количество газов увеличивается, давление их возрастает, и граната выбрасывается из мортирки с большей скоростью, чем при выстреле без дополнительного заряда.

Таким образом, граната летит к цели с горящим дистанционным составом. Когда состав этот прогорит до бокового отверстия тарели, огонь передается в замедлитель, а затем после сгорания замедлителя — в детонатор. От взрыва детонатора взрываются разрывной заряд и граната.

ОТДЕЛ ДЕСЯТЫЙ

АРТИЛЛЕРИЙСКИЕ ПРИБОРЫ И ПРИЦЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

★

ГЛАВА I

ВВЕДЕНИЕ

1. Назначение артиллерийских приборов

Для поражения цели нужно навести орудие так, чтобы средняя траектория проходила через желаемую точку.

Наводка орудия производится с помощью специальных приборов — прицельных приспособлений, непосредственно связанных с орудием и составляющих его неотъемлемую часть.

Для дистанционной стрельбы устанавливается трубка; этой установкой предопределяют положение разрыва на траектории.

Стрельба из современных дальнобойных орудий, а также ведение огня по приспособляемым к местности и тщательно маскируемым целям невозможна без применения специальных приборов наблюдения и разведки.

Определение положения цели связано с измерением тех или иных координат специальными приборами. Однако следует отметить, что нельзя проводить строгого разделения между приборами наблюдения и приборами измерения координат, так как измерение координат связано с наблюдением и наоборот.

Дальнейший процесс подготовки стрельбы, заключающийся в определении исходных установок на основе учета положения цели и условий стрельбы, а также решение огневых задач в различных условиях боя (целеуказание, сосредоточение и рассредоточение огня, наблюдение за результатами стрельбы и корректировка огня) связаны с производством тех или иных вычислений, требующих сравнительно много времени. Все эти действия совершаются при помощи ряда отдельных приборов, которые можно объединить под общим названием „приборы управления огнем". Отдельными приборами этой группы можно решать комплексно и несколько из перечисленных задач.

Приборы управления огнем приобретают особое значение при стрельбе по быстродвижущимся целям. В этом случае процесс подготовки и ведения стрельбы значительно усложняется в связи с необходимостью специального учета движения цели и кратковременностью нахождения ее в зоне обстрела орудия.

Таким образом, артиллерийские приборы в зависимости от их назначения могут быть разделены на следующие группы:

1) приборы наблюдения и измерения координат;
2) приборы управления огнем (ПУО);
3) прицельные приспособления;
4) контрольные приборы.

Последняя группа непосредственно в процессе стрельбы в боевых условиях не имеет применения, а предназначается главным образом для полигонной службы.

По виду используемой энергии (в качестве основного принципа действия приборов) различают приборы: оптические, акустические, механические, электрические и др.

2. Понятие о системе ПУАО и ПУАЗО

Методы организации и ведения стрельбы в значительной мере зависят от существующих приборов. Всякое изменение приборов вызывает и изменение методов организации, подготовки и ведения стрельбы. С другой стороны, новые способы стрельбы приводят к изменению и универсализации существующих или к появлению новых приборов.

Современная материальная часть артиллерии и стрелкового оружия все более и более требует механизации и централизации действий по ведению стрельбы и управлению огнем. Осуществление этих требований может итти, во-первых, по линии унификации самых методов подготовки и ведения стрельбы и, во-вторых, по линии универсализации отдельных приборов в направлении комплексности решения ими всей задачи стрельбы. Особую роль при этом приобретает необходимая точность определения входных данных и соответствующая точность получения исходных установок на основе более полного учета условий стрельбы. Такое решение возможно при наличии так называемой системы приборов управления артиллерийским огнем (ПУАО), состоящей из связанных между собой отдельных приборов, каждый из которых решает одну или несколько задач.

Система приборов, удовлетворяющая поставленным требованиям, была прежде всего создана для стрельбы по движущимся целям — в береговой и морской артиллерии, а с появлением авиации — и для зенитной артиллерии.

Развитие системы приборов управления артиллерийским зенитным огнем (ПУАЗО) было вызвано требованием автоматической и централизованной наводки, вытекающим из необходимости непрерывного и практически мгновенного решения всей задачи стрельбы. Последнее особенно важно, если учесть современные скорости самолетов (до 150 *м/сек* и более) и нахождение их в зоне обстрела орудия в течение небольшого промежутка времени (максимум 2—3 минуты).

Современная система ПУАЗО представляет собой комплекс отдельных приборов, куда входят: приборы наблюдения и измерения координат, центральный прибор для непрерывного исчисления исходных установок с учетом влияния условий стрельбы и специальный вид связи — так называемая синхронная передача данных как с одного прибора на другой, так и непрерывно на орудия.

Иногда система ПУАЗО включает в себя, кроме того, ряд вспомогательных приборов для обнаружения невидимой цели и обеспечения стрельбы по ней (звукоулавливатели и прожекторы).

3. Общие требования, предъявляемые к артиллерийским приборам

К артиллерийским приборам предъявляются следующие общие требования.

1. Необходимая точность. Как было указано выше, современные способы стрельбы основаны на использовании существующих приборов как для определения входных данных, так и для вычисления данных для стрельбы; поэтому успех стрельбы во многом зависит от точности работы приборов. Точность является основной характеристикой прибора. Как следствие отсюда, к отдельным приборам, наиболее чувствительным к внешним воздействиям, предъявляют дополнительное требование — возможность выверки и регулировки в полевых условиях.

В качестве примера можно указать на прицельные приспособления, которые непосредственно связаны с орудием. Детали прицельных при-

способлений претерпевают при каждом выстреле значительные динамические нагрузки, вибрации и т. п.; поэтому с течением времени взаимное положение деталей в приборе, а равно положение всего прибора по отношению к орудию нарушается. Другим примером может служить оптический дальномер, который в значительной степени подвержен расстройству от толчков и тряски при транспортировке, от изменения температуры окружающей среды и др. Выверка таких приборов имеет целью восстановление нарушенной точности их работы.

2. Обеспечение соответствующих пределов работы. Пределы работы прибора не должны ограничивать боевых свойств артиллерии (дальности, скорострельности и др.). Так например, приборы измерения координат, приборы для подготовки исходных установок и др. должны обеспечивать определение данных в пределах дальностей стрельбы и углов обстрела данной системы орудия, а в некоторых случаях пределы работы прибора должны превышать пределы стрельбы.

3. Простота обслуживания. В связи со сложностью решаемых огневых задач это требование сводится к необходимости наибольшей механизации и ускорения процесса их решения. Работа на приборе должна выполняться посредством простейших операций, не требующих длительной тренировки (совмещение индексов, установка по шкале и др.).

4. Наконец, приборы должны быть по возможности минимальных габаритов и веса, что весьма важно с тактической стороны в отношении маневренности, приспособляемости к местности и других условий эксплоатации. Следует отметить, что стремление к малым габариту и весу часто находится в противоречии с основным требованием о необходимой точности; поэтому рациональное сочетание в приборе требуемой точности и малых габаритов и веса является весьма сложной задачей.

Кроме перечисленных выше общих требований, к каждому прибору в зависимости от его назначения и условий его работы предъявляют ряд специальных требований.

ГЛАВА II

ОСНОВАНИЯ УСТРОЙСТВА ОПТИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

1. Глаз и зрение

Военные оптические приборы имеют своим общим назначением увеличение пределов зрения человека как по дальности наблюдения, так и по восприятию глубины пространства.

Глаз при наблюдении через оптический прибор составляет с последним единую оптическую систему; поэтому физиологические и оптические свойства глаза во многом предопределяют устройство оптических приборов и основные требования к ним.

Напомним, что глаз состоит из нескольких преломляющих поверхностей различного радиуса кривизны: прозрачной роговой оболочки, в которую переходит склеротика глазного яблока, и двух сферических поверхностей хрящевидного тела — хрусталика, имеющего форму двояковыпуклой линзы.

Если изображения двух светящихся точек находятся на разных светочувствительных элементах сетчатки, разделенных по крайней мере одним нераздраженным элементом, тогда эти точки будут различаться глазом раздельными. Если же обе точки находятся на таком малом угловом расстоянии, что их изображения приходятся на один светочувствительный элемент, то световое раздражение воспринимается одним нервным волокном, как происходящее от одного источника; тогда глаз „не разрешает" эти точки, и они воспринимаются как одна точка.

Предельное угловое расстояние между двумя точками, еще различаемыми глазом раздельно, называется разрешающей силой глаза. За среднюю величину разрешающей силы глаза δ (рис. 419) обычно принимают 60″.

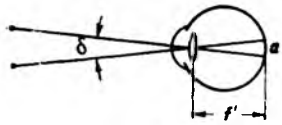


Рис. 419. Разрешающая сила глаза

Рис. 420. Смещение штрихов

Установлено, что разрешающая сила глаза значительно превосходит 60″ и достигает 10″ при рассматривании смещения двух вертикальных резких штрихов (рис. 420) вдоль тонкой линии раздела. Эта чувствительность глаза используется в обыденной практике, например, при совмещении индекса с делением шкалы, в нониусах, в монокулярных дальномерах и др.

2. Стереоскопическое зрение

Восприятие глубины пространства, т. е. ощущение взаимного удаления предметов, находящихся на различных расстояниях, наиболее резко проявляется при зрении двумя глазами (бинокулярном зрении). Способность видеть предметы рельефно и различать их взаимное удаление по глубине называется пластичностью или стереоскопичностью зрения.

Стереоскопический эффект обычно сопровождается целым рядом дополняющих признаков, к которым относятся: частичное наложение предметов, различная величина изображений равных по величине предметов, различная видимая яркость одинаково освещенных предметов и др. Все это дает нам суждение о взаимном удалении предметов.

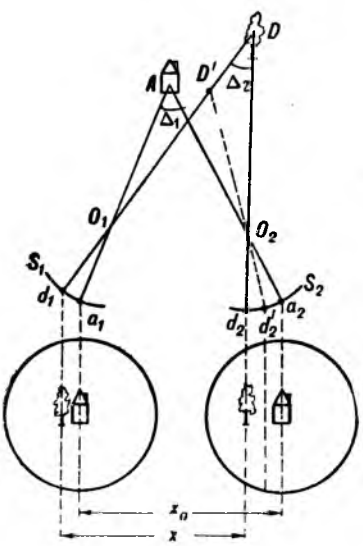


Рис. 421. Схема возникновения стереоскопического эффекта

Сущность „чистого“ стереоскопического эффекта состоит в том, что при рассматривании пространства двумя глазами на сетчатках глаз получаются разные изображения этого пространства, так как между центрами зрачков глаз имеется некоторое расстояние (база). Световые раздражения, воспринимаемые сетчатками, передаются центральной нервной системе, которая сводит два различных изображения в одно восприятие, дающее суждение о глубине пространства.

Пусть, например, O_1 и O_2 (рис. 421) обозначают оптические центры левого и правого глаза, S_1 и S_2 — их сетчатки. При рассматривании точки A оптические оси обоих глаз сводятся на нее, образуя угол Δ_1, называемый параллактическим углом. Изображения рассматриваемой точки (точки a_1 и a_2) получаются в центральной части желтых пятен. Обозначим расстояние между ними через x_0. При одновременном рассматривании точки D под параллактическим углом Δ_2 на сетчатках получатся ее изображения (d_1 и d_2), расстояние между которыми x; при этом взаимное положение изображений обеих точек в каждом глазу неодинаковое (на нижней части рисунка представлены картины, получающиеся на сетчатках каждого глаза).

Разность расстояний $x_0 - x = l$, обусловленная разностью параллактических углов $\Delta_1 - \Delta_2$, называется линейным параллаксом. Чем меньше взаимное удаление предметов, тем меньше линейный параллакс.

Если переместить точку D в положение D', характеризуемое тем же расстоянием до глаз, что и от точки A, то угол Δ_2 станет равным Δ_1, и линейный параллакс l окажется равным нулю. Глаза ощущают очень незначительную разницу в положении изображений на сетчатках.

Обозначим через δ минимальную угловую разность $\Delta_1 - \Delta_2$, при которой еще имеется стереоскопическое восприятие. Величина δ называется точностью стереоскопического восприятия. Для нормального зрения принимают $\delta = 10''$.

Исходя из точности стереоскопического восприятия, определяют радиус стереоскопического зрения

$$R = \frac{b}{\delta}, \tag{1}$$

где b — база между глазами, равная в среднем 65 *мм*; отсюда $R \approx 1{,}3$ *км*. Под R понимают максимальное расстояние, в пределах которого ощущается глубина пространства.

Если мы и различаем взаимное удаление предметов, находящихся на расстоянии, большем чем $R \approx 1{,}3$ *км*, то это объясняется дополняющими к стереоскопическому эффекту признаками, о которых упоминалось выше.

3. Оптическая система глаз — лупа

Предмет при рассматривании его невооруженным глазом (рис. 422) виден под некоторым углом зрения w, определяемым из выражения

$$\operatorname{tg} w = \frac{y}{L}, \tag{2}$$

где y — линейные размеры предмета и
L — расстояние его от глаза.

Детали предмета становятся различимыми, если угол зрения равен $60''$.

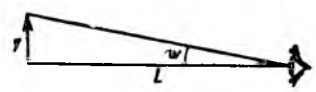


Рис. 422. Угол зрения

Увеличение угла зрения достигается приближением предмета к глазу. Однако при этом в некоторых случаях может понадобиться приближение предмета на такое небольшое расстояние, на которое глаз не способен аккомодировать. В этом случае глаз вооружают простейшим оптическим прибором — лупой. Обычно лупа устанавливается таким образом, чтобы в глаз входили пучки лучей, отвечающие наблюдению глазом, свободным от аккомодации. Для глаза с нормальным зрением этому положению соответствуют параллельные пучки лучей. Следовательно, для этого случая лупа должна быть помещена так, чтобы предмет находился в ее фокальной плоскости.

4. Телескопическая система

Большинство военных оптических приборов является телескопическими системами типа обычной зрительной трубы.

Телескопической системой называется такая сложная система (рис. 423), у которой задний фокус F_1' системы *I* совмещен с передним фокусом F_2 системы *II*. Система *I*, обращенная к предмету, называется объективом, а система *II*, обращенная к глазу, — окуляром.

Рис. 423. Телескопическая система:
I — объектив; *II* — окуляр

Основное свойство телескопической системы состоит в том, что лучи, входящие параллельным пучком под углом зрения w

к оптической оси (рис. 424), после выхода из окуляра поступают в глаз также параллельным пучком, составляя с оптической осью угол w^1.

Лучи, идущие от каждой точки достаточно удаленного предмета MN, собираются объективом в его фокальной плоскости, давая изображение $m'n'$. Последнее рассматривается в окуляр как через лупу, под бо́льшим углом зрения ($m''n''$).

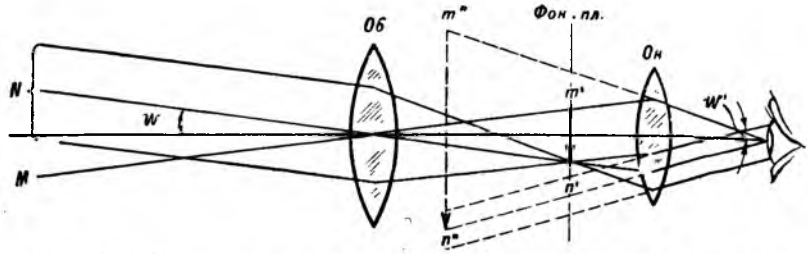


Рис. 424. Построение хода лучей через телескопическую систему

Объектив и окуляр обычно состоят из нескольких линз с поверхностями различных радиусов кривизны, изготовленных из стекол с различными коэфициентами преломления.

Оптическая система, состоящая из простых линз, обладает большими погрешностями, называемыми а б е р р а ц и я м и.

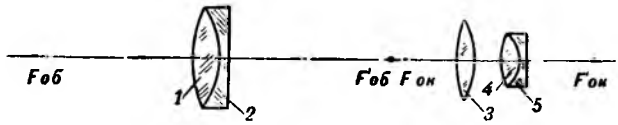


Рис. 425. Телескопическая система из сложных линз:

1, 2 — линзы объектива; *3, 4* и *5* — линзы окуляра

На рис. 425 представлена телескопическая система, в которой объектив состоит из двух склеенных линз *1* и *2*, а окуляр имеет три линзы — *3, 4* и *5*.

5. Оборачивающие системы и призмы

Рассмотренная в предыдущем параграфе схема зрительной трубы применяется не во всех военных приборах, так как рассматриваемое изображение в ней получается обратным. Для получения прямого изображения между объективом и окуляром вводят дополнительную о б о р а ч и в а ю щ у ю систему.

В зависимости от назначения оптического прибора применяют линзовые или призменные оборачивающие системы.

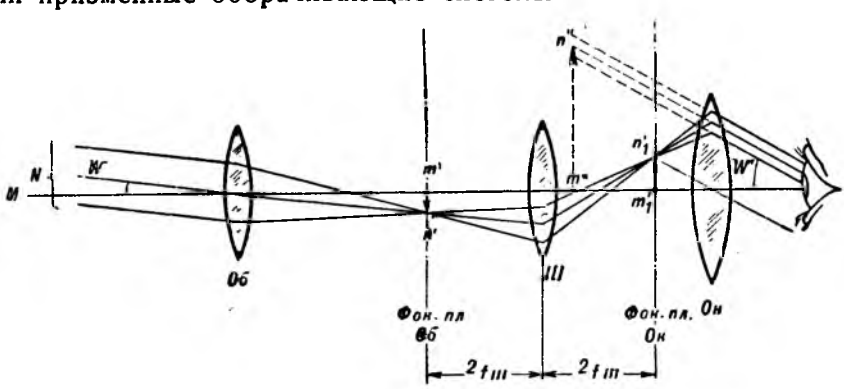


Рис. 426. Схема зрительной трубы с однолинзовой оборачивающей системой:

Об — объектив; *III* — оборачивающая система; *Ок* — окуляр

На рис. 426 представлена схема зрительной трубы, в которой система *III* является оборачивающей. Чтобы система *III* не изменяла хода лучей после окуляра, ее ставят на двойном фокусном расстоянии $2f_{III}$ от фокальных плоскостей объектива и окуляра. В этом случае длина зрительной трубы увеличивается на величину $4f_{III}$.

По этой схеме через окуляр рассматривается прямое изображение $m_1'n_1'$, равное по величине обратному изображению $m'n'$.

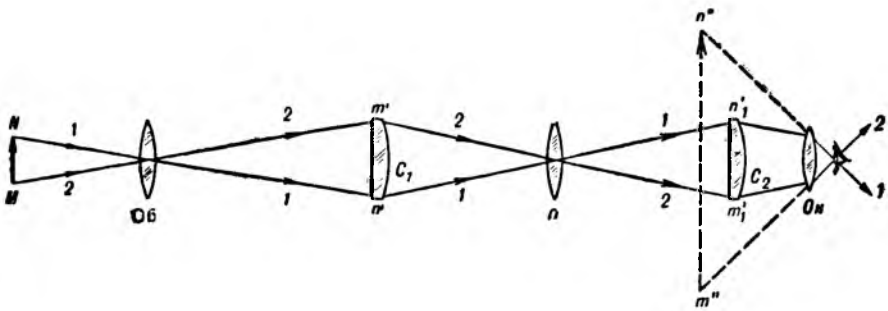


Рис. 427. Действие коллектива:
O — оборачивающая система; C_1, C_2 — коллективы; *1—1*, *2—2* — ход главных лучей

Наиболее часто применяют линзовые оборачивающие системы, состоящие из двух линз, что, однако, вызывает увеличение габаритов прибора по диаметру и длине. Расстояние между линзами оборачивающей системы может быть произвольным, так как между ними лучи идут параллельными пучками. Для уменьшения диаметров линз оборачивающей системы в фокальной плоскости объектива (рис. 427) ставят дополнительную линзу C_1 (чаще всего плоско-выпуклую), называемую коллективом.

Коллективная линза не влияет на ход параллельных пучков, а изменяет лишь ход главных лучей, приближая их к оптической оси. В некоторых случаях коллектив ставят также и в фокальной плоскости окуляра C_2. Действие коллектива видно из рис. 427.

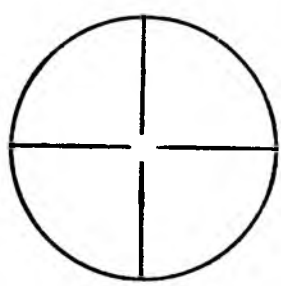


Рис. 428. Сетка

Для наводки оптического прибора служит сетка в виде перекрестья (рис. 428) или другого чертежа в зависимости от назначения прибора. Сетку наносят на плоско-параллельной пластинке, которую помещают в фокальной плоскости окуляра (объектива). При наличии в оптической схеме коллектива сетку наносят на его плоской поверхности, совпадающей с фокальной плоскостью.

Наблюдатель, смотря в прибор, видит одновременно изображения предмета и сетки, отнесенные в бесконечность.

Когда необходимо иметь длину прибора небольшой, в качестве оборачивающих систем применяют призмы. Последние могут служить не только для оборачивания изображения, но и для изменения направления хода лучей. Призмы бывают разнообразных конструкций в зависимости от их назначения.

а) Прямоугольная отражательная призма (рис. 429 и 430) применяется для изменения направления хода лучей на 90°, а также для изменения направления линии визирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Прямоугольную призму ставят обычно в параллельном пучке лучей перед объективом, в головной части прибора.

Изменение направления линии визирования в вертикальной плоскости (рис. 429) достигается качанием призмы вокруг горизонтальной оси *K*, параллельной ребру прямого двугранного угла. Для изменения направления линии визирования на угол 2α призму поворачивают на угол α.

Изменение направления линии визирования в горизонтальной плоскости (рис. 430) осуществляется вращением призмы вокруг вертикальной оси *О—О* относительно неподвижной нижней части прибора.

На рис. 430 положение *б* соответствует повороту призмы на 180° относительно положения *а*.

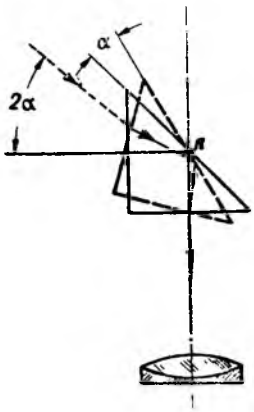


Рис. 429. Изменение направления линии визирования в вертикальной плоскости:

К — ось качания головной призмы

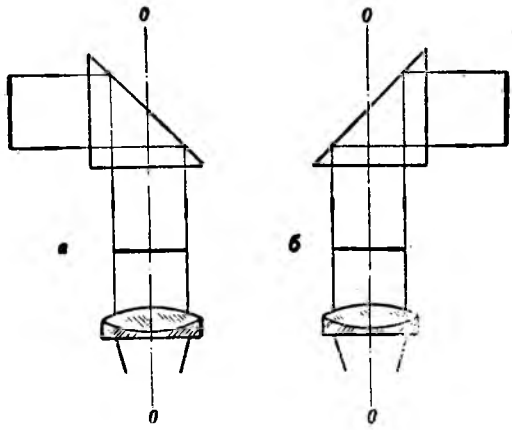


Рис. 430. Изменение направления линии визирования в горизонтальной плоскости:

а — начальное положение головной призмы; *б* — головная призма повернута на 180° от начального положения; *О — О* — ось вращения головной призмы

Вращение головной призмы вызывает поворот изображения вокруг оптической оси на угол, равный углу вращения призмы.

Для компенсации поворота изображения применяют призму Дове, устанавливаемую по ходу луча после прямоугольной призмы.

б) Призма Дове представляет собой прямоугольную призму со срезанным прямым углом. Гипотенузную грань *АС* устанавливают параллельно оптической оси. Лучи, падающие на призму параллельно оптической оси, по выходе из призмы не изменяют своего направления. Призма дает зеркальное изображение (обращенное только в одном направлении — перпендикулярном к грани *АС*). При вращении призмы вокруг оптической оси изображение вращается вокруг этой же оси, но с удвоенной угловой скоростью. На рис. 431 показана схема поворота изображения на 180° и 360° при повороте призмы соответственно на 90° (рис. 431, *б*) и 180° (рис. 431, *в*).

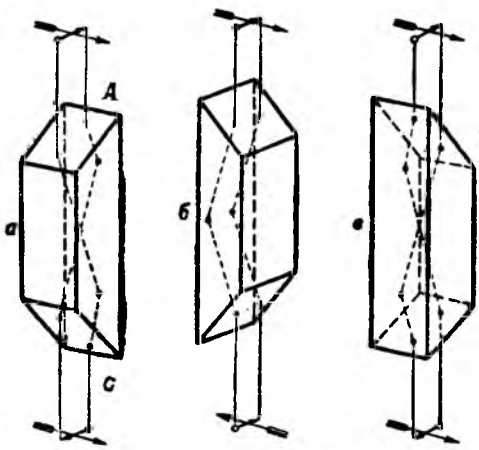


Рис. 431. Вращение изображения при вращении призмы Дове:

а — начальное положение призмы; *б* — призма повернута на 90°; *в* — призма повернута на 180°

в) Куб-призма (рис. 432) служит для изменения направления линии визирования в горизонтальной или в вертикальной плоскости в зависимости от положения оси вращения *т*. Она состоит из двух прямоугольных призм, склеенных своими посеребренными гипотенузными гранями, образуя куб.

Куб-призма работает как прямоугольная отражательная призма. При установке посеребренных граней под углом 45° к оптической оси объектива (рис. 432, *а*) линия визирования составляет с оптической осью угол в 90°. Поворот куб-призмы вокруг оси *т* на угол α (рис. 432, *б*) вызывает изме-

нение направления линии визирования на угол 2α. В этом случае работает и вторая половина куба, так как часть параллельного пучка (заштрихованная) преломляется прямоугольной призмой *I*.

Когда посеребренные грани расположены вдоль оптической оси (рис. 432, *в*), тогда в одинаковой мере работают обе половины; при этом линия визирования составляет с оптической осью угол 180°. При дальнейшем вращении (рис. 432, *г*) призмой *II* отражается все меньшая часть пучка, и в положении, указанном на рис. 432, *д*, весь пучок отражается одной половиной *I*. Таким образом, куб-призма дает возможность обзора в пределах 250°. Призма дает зеркальное изображение.

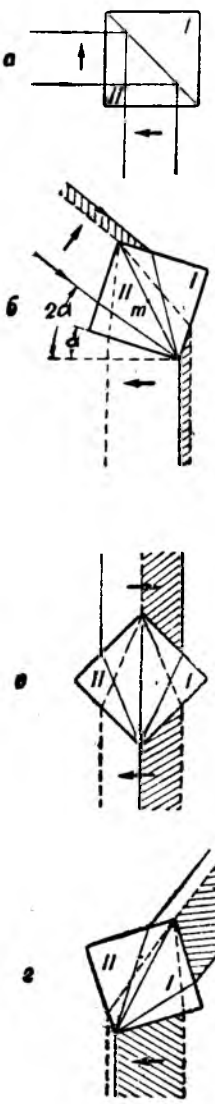


Рис. 432. Изменение направления линии визирования при вращении куб-призмы

г) Пентапризма (рис. 433) применяется для получения прямого изображения с одновременным изменением направления луча на 90°. Пентапризма имеет две преломляющие грани под прямым углом и две отражающие грани, составляющие 45°. Эта призма обладает тем свойством, что всякий луч *RT*, прошедший через призму, образует прямой угол с первоначальным направлением *PQ* независимо от угла падения, т. е. если поворачивать призму вокруг оси, параллельной ребру прямого угла, то изображение будет оставаться неподвижным.

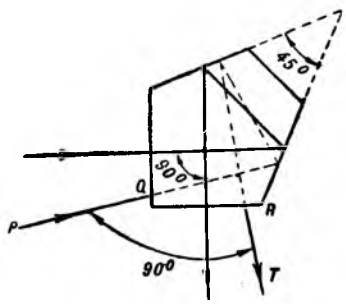


Рис. 433. Ход лучей через пентапризму

Оборачивающая система Порро (рис. 434) дает вполне обращенное изображение (обращенное в двух взаимно перпендикулярных направлениях) и потому может заменить оборачивающую систему из линз. Систему Порро составляют из двух прямоугольных призм, обращенных своими гипотенузными гранями параллельно одна к другой.

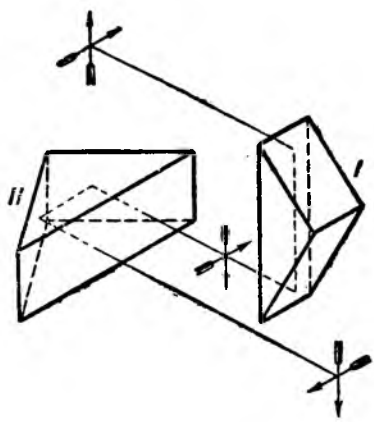


Рис. 434. Полное оборачивание изображения системой Порро:
I и *II* — прямоугольные призмы системы

Луч визирования после четырехкратного отражения в обеих призмах *I* и *II* не меняет своего направления, имея только параллельный сдвиг. Каждая призма поворачивает изображение вокруг оси, параллельной ребру прямого угла. Так как ребра прямых углов взаимно перпендикулярны, то изображение, даваемое системой, получается полностью обращенное (направления верх—низ и право—лево меняются местами).

Крышеобразная призма (дахпризма) (рис. 435) применяется для полного оборачивания изображения и одновременного изменения направления луча на 90°. Она получается из прямоугольной призмы *abcdef*, у которой гипотенузная грань *abfe* срезана двумя плоскостями *mkpn* и *mrsn*, образующими прямой двугранный угол — „крышу" с ребром *mn*.

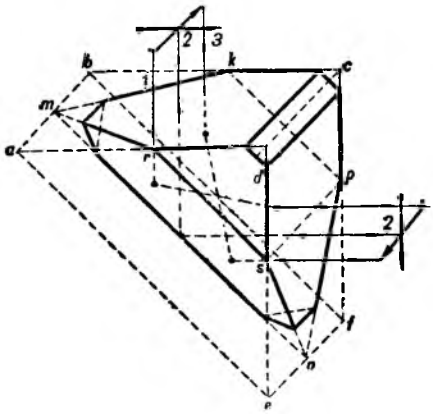


Рис. 435. Ход лучей в крышеобразной призме

Лучи, находящиеся в плоскости симметрии призмы и падающие нормально на одну из преломляющих граней (луч *2*), отражаются ребром „крыши". Лучи *1* и *3*, падающие вне плоскости симметрии, претерпевают двукратное отражение от граней „крыши" и выходят из призмы под углом 90° к первоначальному направлению.

6. Увеличение оптического прибора

Увеличением, или кратностью, оптического прибора называют отношение тангенса угла зрения, под которым виден предмет при наблюдении через прибор, к тангенсу угла зрения, под которым виден предмет невооруженным глазом.

Точка *N* предмета (рис. 436) при наблюдении невооруженным глазом видна под углом w (длиной трубы по сравнению с расстоянием до предмета пренебрегаем).

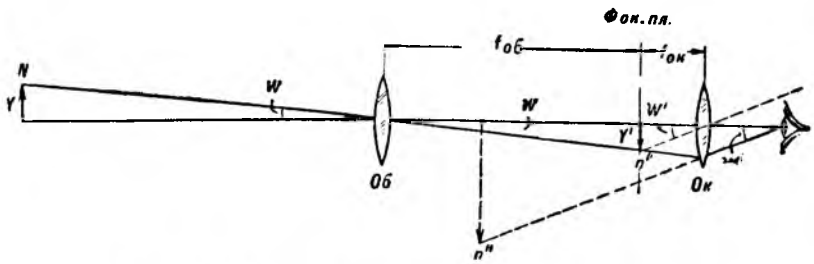


Рис. 436. Схема получения увеличения изображений

При наблюдении через прибор изображение этой точки n'' рассматривается под углом w'.

Увеличение прибора будет:

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w}. \qquad (3)$$

Для грубых расчетов увеличение приближенно принимают

$$\gamma = \frac{w'}{w}. \qquad (3а)$$

Из рис. 436 следует, что

$$y' = f_{об} \operatorname{tg} w = f_{ок} \operatorname{tg} w',$$

где y' — линейная величина изображения.

Принимая во внимание указанные равенства, получим:

$$\gamma = \frac{\operatorname{tg} w'}{\operatorname{tg} w} = \frac{f_{об}}{f_{ок}}. \qquad (4)$$

Например, бинокль имеет $f_{об} = 120$ *мм* и $f_{ок} = 20$ *мм*; следовательно, его увеличение $\gamma = \frac{120}{20} = 6^{\times}$.[1]

Чем больше увеличение, тем лучше будут различаться с помощью прибора удаленные предметы, так как они будут рассматриваться под большими углами зрения. Но с другой стороны, большое увеличение вызывает то неудобство, что малейшие колебания прибора приводят в движение рассматриваемое изображение. Поэтому для приборов с большим увеличением требуются массивные штативы, треноги и т. п. Кроме того, большое увеличение приводит к количественному ограничению другой, не менее важной характеристики прибора — поля зрения.

7. Поле зрения оптического прибора

Полем зрения называют часть одновременно видимого через прибор пространства.

Если между объективом и окуляром нет никаких диафрагм, то поле зрения не имеет резких границ, и яркость изображения предметов при приближении к краям поля зрения постепенно уменьшается. Это явление носит название виньетирования.

Для устранения явления виньетирования в фокальной плоскости объектива помещают диафрагму, называемую диафрагмой поля зрения. Последняя задерживает те пучки лучей, часть которых срезается оправой окуляра при отсутствии диафрагмы поля зрения.

При наличии диафрагмы края поля зрения получаются резко ограниченными.

Поле зрения измеряют телесным углом $2w$ между крайними пучками лучей, которые могут пройти через прибор. Величину угла $2w$ называют углом истинного поля зрения, а величину угла $2w'$, под которым видны изображения крайних точек поля зрения через окуляр, — углом кажущегося поля зрения или углом поля зрения окуляра.

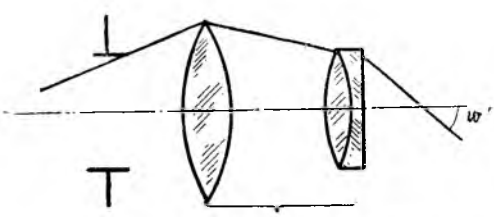


Рис. 437. Окуляр Кельнера

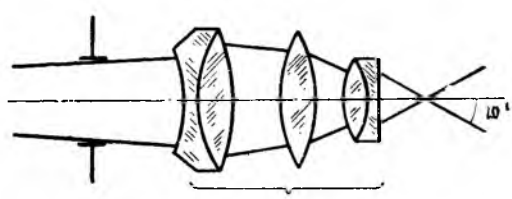


Рис. 438. Окуляр Эрфле

Диафрагмой поля зрения является обычно оправа сетки, устанавливаемой в фокальной плоскости окуляра.

Максимальное значение кажущегося поля зрения имеет свой предел для данного типа окуляра и определяется его качеством. Чем лучше окуляр исправлен в отношении аберраций (погрешностей) для наклонных пучков, тем больше можно допустить угол наклона крайних лучей, падающих на окуляр, не ухудшая качества изображений.

Для окуляров типа Кельнера (рис. 437), применяемых в призменных биноклях, стереотрубах и других приборах, максимальный угол наклона лучей w', при котором получается еще хорошее изображение, достигает 25°.

Угол поля зрения такого окуляра

$$2w' = 2 \cdot 25 = 50^{\circ}.$$

[1] Знак $^{\times}$ обозначает кратность.

Увеличение этого угла вызывает значительное усложнение конструкции окуляра.

Пределом, достигнутым в настоящее время, является угол поля зрения окуляра около 70°. Схема окуляра типа Эрфле с полем зрения $2w' = 70°$ представлена на рис. 438.

Поле зрения прибора связано с его увеличением равенством $\operatorname{tg} w = \frac{\operatorname{tg} w'}{\Gamma}$, или приближенно

$$2w = \frac{2w'}{\Gamma}.$$

Угол истинного поля зрения равен углу поля зрения окуляра, деленному на увеличение прибора.

Отсюда следует, что для данного типа окуляра нельзя получить большое увеличение, не уменьшая его поля зрения.

8. Зрачки входа и выхода

Пучок лучей при прохождении через оптическую систему ограничивается той или иной оправой или какой-либо специально поставленной диафрагмой. Если перед объективом никаких оправ или диафрагм нет, то пучок ограничивается прежде всего оправой объектива (рис. 439). В зависимости от оптической системы пучок лучей после прохождения объектива может быть еще больше ограничен оправой или какой-нибудь другой диафрагмой.

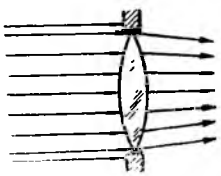


Рис. 439. Ограничение пучка лучей оправой

Диафрагма, ограничивающая пучок лучей при прохождении через всю оптическую систему, называется действующей диафрагмой; ее изображение через предыдущую часть оптической системы в пространстве предметов называется входным зрачком, а ее изображение через последующую часть системы в пространстве изображений называется выходным зрачком.

Сечение входящего в оптический прибор пучка определяется, таким образом, отверстием входного зрачка, а сечение пучка, выходящего из прибора, — отверстием выходного зрачка.

Для телескопических систем действующей диафрагмой является отверстие оправы объектива. Оно же является входным зрачком, поскольку перед объективом нет никаких линз.

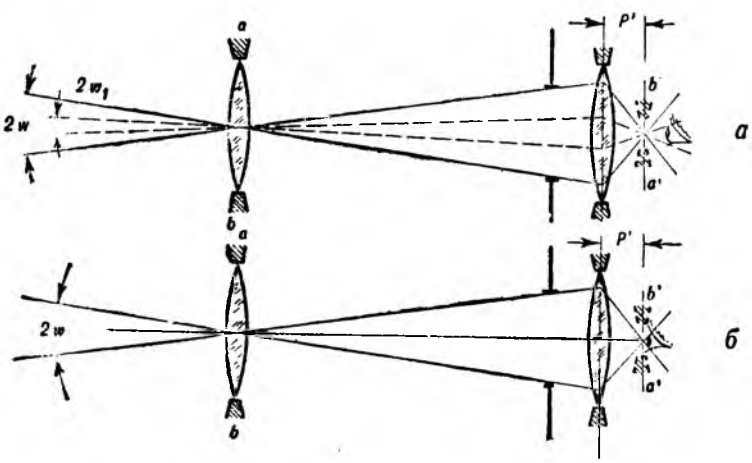


Рис. 440. Использование поля зрения в зависимости от взаимного положения зрачков—выходного и глаза:

а — используется часть поля зрения трубы; *б* — используется все поле зрения трубы

Положение выходного зрачка и его диаметр имеют весьма важное значение при наблюдении через оптический прибор. Когда диаметр выходного зрачка больше диаметра зрачка глаза, то не весь параллельный пучок лучей, выходящий из прибора, попадает в глаз, и часть света теряется. Точно так же для использования всего поля зрения $2w$ (рис. 440, *б*), даваемого прибором, необходимо, чтобы зрачок глаза наблюдателя был совмещен с выходным зрачком прибора.

При приближении глаза к окуляру или удалении от него (рис. 440, *а*) наблюдателем используется только часть поля зрения. Обеспечение требуемого положения зрачка глаза при наблюдении через прибор достигается применением окулярной (глазной) раковины *1*

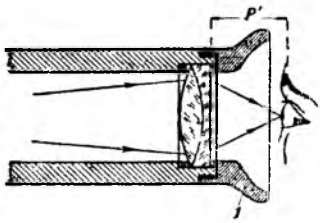


Рис. 441. Совмещение выходного зрачка и зрачка глаза при помощи раковины *1*

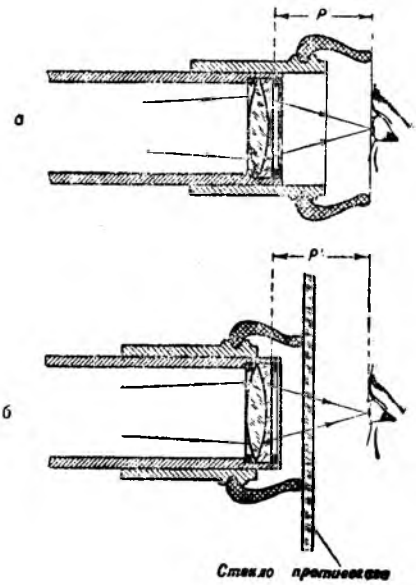


Рис. 442. Передвижная окулярная раковина:

а — положение глазной раковины при наблюдении без противогаза; *б* — положение раковины при наблюдении в противогазе

(рис. 441). Прилегание глазной впадины к раковине дает необходимое положение зрачка глаза на удалении P' от последней поверхности окуляра. Удаление выходного зрачка бывает порядка 10—12 *мм*.

Одним из современных требований к оптическому прибору является возможность наблюдения в противогазе. Это требование удовлетворяется особой конструкцией окуляра, у которого удаление выходного зрачка не менее 19 *мм*. При этом окулярную раковину делают передвижной относительно окуляра. На рис. 442 показаны положения окулярной раковины при наблюдении в противогазе (*б*) и без него (*а*).

9. Светосила оптического прибора

Светосила оптического прибора характеризует видимую яркость предмета при наблюдении через прибор. Чем больше яркость изображения, получаемого на сетчатке глаза, тем сильнее световое раздражение его светочувствительных элементов, что воспринимается как лучшее зрительное ощущение рассматриваемого предмета.

Яркость изображения на сетчатке определяется его освещенностью, т. е. количеством световой энергии, приходящейся на единицу площади изображения.

Отношение видимой яркости предмета при наблюдении через прибор к видимой яркости предмета при наблюдении невооруженным глазом называется светосилой H.

$$H = \frac{d^2}{d_0^2},$$

где d — диаметр выходного зрачка;

d_0 — диаметр зрачка глаза.

Диаметр зрачка глаза в зависимости от условий наблюдения меняется от 2 до 8 *мм*; поэтому за величину светосилы условно принимается численное значение квадрата диаметра выходного зрачка, выраженного в *мм*.

В отдельных приборах, у которых, по условиям работы с ними, требуется большое удаление выходного зрачка, диаметр его делают больше диаметра зрачка глаза. Это необходимо для того, чтобы при смещении глаза его зрачок не выходил за пределы выходного зрачка. Увеличение диаметра выходного зрачка особенно важно для приборов, работающих в условиях тряски, качаний и т. д. (танковых, авиационных прицелов и др.).

При измерении светосилы квадратом диаметра выходного зрачка не учитывается потеря света при прохождении через оптический прибор. Часть света теряется при преломлении, и часть поглощается стеклом. При каждом преломлении теряется около 4—5%; при прохождении через оптическое стекло толщиной 1 *см* поглощается до 1% световой энергии.

В биноклях и стереотрубах потери света доходят до 40—50%. В более сложных приборах (с большим количеством преломляющих поверхностей и со значительной длиной хода луча в стекле) потери достигают 70—80%.

10. Разрешающая сила оптического прибора

Разрешающая сила оптического прибора характеризует качество даваемого его объективом изображения. Изображение же предмета можно рассматривать как совокупность изображений отдельных его элементов.

Вследствие наличия погрешностей во всякой оптической системе каждая точка предмета изображается светлым пятном. При прохождении света через отверстие (например отверстие объектива) каждая точка изображается диффракционной картиной. Последняя выражается в том, что точка изображается (рис. 443) в виде светового круглого пятна, окруженного рядом темных и светлых колец, резко убывающих по своей интенсивности. Диффракционная картина наблюдается тем резче, чем меньше диаметр отверстия. Изображения двух соседних точек предмета накладываются друг на друга. При одном и том же расстоянии a между их центрами качество изображения предмета будет тем лучше, чем меньше диаметр светлых кружков (рис. 444).

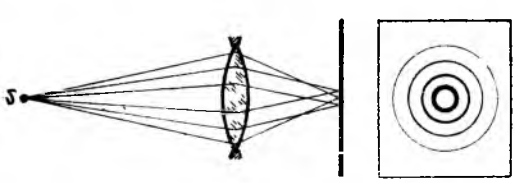


Рис. 443. Диффракционная картина изображения точки

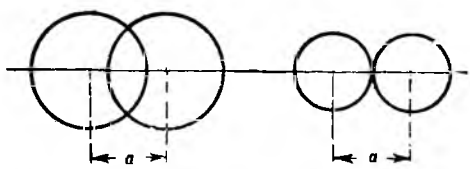


Рис. 444. Зависимость резкости изображения двух точек от размера диффракционных картин:

a — расстояние между центрами картин

Расстояние между центрами изображений двух близких точек предмета зависит от углового расстояния между этими точками относительно объектива.

Минимальное угловое расстояние между двумя точками, изображение которых воспроизводится оптическим прибором еще раздельно, называется разрешающей силой прибора. Чем меньше для данного оптического прибора предельное угловое расстояние, тем его разрешающая сила больше и качество даваемого им изображения лучше.

Разрешающая сила лучших биноклей (6×30) достигает $5''{,}5$.

ГЛАВА III

ПРИБОРЫ НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ

1. Координаты и единицы их измерения

Положение всякой точки определяется ее координатами, взятыми в какой-либо системе. В артиллерии наиболее часто употребляют полярную (на плоскости и в пространстве) и прямоугольную системы координат.

В полярной системе координат (рис. 445) в качестве полярной плоскости принимают плоскость горизонта *P*, проходящую через начало координат *O* (точку стояния измерительного прибора, орудия и т. п.). Координатами точки *Ц* в этой системе являются:

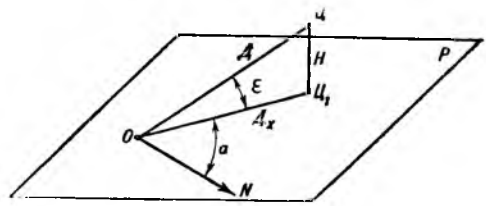


Рис. 445. Полярная система координат в пространстве

1) расстояние *Д*, называемое наклонной дальностью; ее проекцию *Дх* на горизонтальную плоскость называют топографической или горизонтальной дальностью;

2) угол ε в вертикальной плоскости, отсчитываемый от горизонта и называемый углом места (цели, разрыва и т. д.);

3) угол *a* в горизонтальной плоскости между некоторым выбранным основным направлением *ON* и направлением вертикальной плоскости, проходящей через заданную точку.

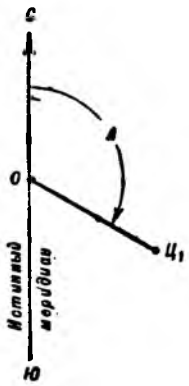


Рис. 446. Направление отсчета азимута в наземной артиллерии

Дальность измеряют в метрах (километрах). В процессе подготовки и ведения стрельбы пользуются еще другой единицей измерения — делением прицела; в этих делениях нарезают дистанционные шкалы прицельных приспособлений.

В качестве линейной координаты может быть также использована высота *H* (к полярной системе не относится).

Углы, измеряемые в горизонтальной плоскости, в зависимости от направления их отсчета, а также в зависимости от того, какое направление принято за основное, имеют различные названия: 1) азимут, 2) буссоль и 3) дирекционный угол.

Азимутом называют угол *A* (рис. 446) в горизонтальной плоскости между направлением истинного (географического) меридиана и заданным направлением, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от направления на север.

Примечание. В зенитной артиллерии азимутом называют угол в горизонтальной плоскости между основным направлением (любым выбранным) и заданным направлением, отсчитываемый против движения часовой стрелки от основного направления.

Буссолью (магнитным азимутом) называют угол между направлением магнитного меридиана и заданным направлением, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от направления на север.

Дирекционным углом называют угол в горизонтальной плоскости между положительным направлением оси абсцисс сетки Гаусса-Крюгера и заданным направлением; этот угол отсчитывается по ходу часовой стрелки от положительного направления оси абсцисс.

Дирекционным углом пользуются при работе на военно-топографических картах, нанесенных в прямоугольной системе координат Гаусса-Крюгера.

Эта система служит для изображения сферической поверхности земли на плоскости по зонам, ограниченным меридианами через 6° долготы, начиная от 0° по Гринвичу (0°, 6°, 12° и т. д.). Каждая зона земного сфероида изображается в виде ее проекции на цилиндр, касательный по среднему (осевому) меридиану (3°, 9°, 15° и т. д. долготы). Развертка цилиндра и является изображением зоны на карте в системе прямоугольных координат Гаусса-Крюгера.

За направления координатных осей приняты: проекция осевого меридиана — ось абсцисс (OX) и проекция экватора — ось ординат (OY).

При таком проектировании искажения линий получаются настолько незначительными, что ошибки от искажения находятся в пределах ошибок измерения и построения расстояний и углов на карте.

За единицу измерения углов, кроме градусной меры, в артиллерии принято так называемое деление угломера.

Одно деление угломера — это угол, стягиваемый дугой, равной $\frac{1}{6000}$ части окружности, т. е.

$$1 \text{ деление угломера} = \frac{360°}{6000} = 0°,06 = 3',6.$$

Длина дуги, стягиваемой одним делением угломера, равна

$$\frac{2\pi R}{6000} = \frac{6{,}28R}{6000} = \frac{1}{955}R \approx \frac{1}{1000}R \text{ (с ошибкой } 4{,}7\%).$$

Следовательно, 1 деление угломера соответствует приблизительно $\frac{1}{1000}$ дальности (радиуса); отсюда второе название единицы измерения угла — „тысячная".

Вся окружность имеет 6 000 делений; поэтому для удобства чтения и записи больших углов применяют термин „большое деление угломера". Одно „большое деление" равно 100 делениям угломера (малым). Большие деления при записи отделяются знаком дефиса. Так например, угол в 3752 деления угломера пишется „37-52" и читается „тридцать семь пятьдесят два"; угол в 8 делений угломера пишется „0-08" и читается „ноль ноль восемь" и т. д.

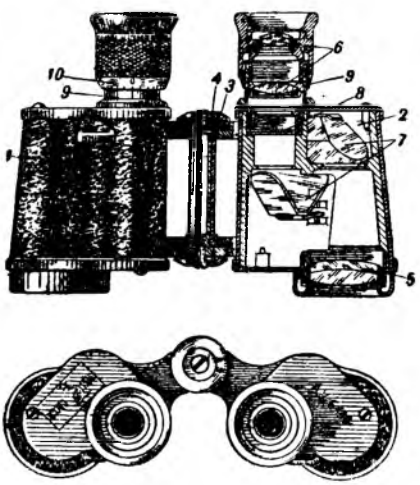


Рис. 447. Призменный бинокль 6 × 30:

1 и *2* — монокуляры; *3* — шарнирная ось; *4* — шкала расстояний между центрами окуляров; *5* — объектив; *6* — линзы окуляра; *7* — призмы; *8* — сетка; *9* — окулярная трубка; *10* — диоптрийная шкала

2. Бинокль

Бинокль является наиболее распространенным наблюдательным оптическим прибором. Он предназначается для наблюдения за полем боя, отыскания и изучения целей, а также для измерения углов.

Призменный бинокль (рис. 447) состоит из двух оптических труб-монокуляров *1* и *2*, соединенных шарнирной осью *3*.

Шарнирная ось, обеспечивающая параллельность оптических осей обоих монокуляров, служит для установки расстояния между центрами окуляров соответственно расстоянию между зрачками глаз (глазной базе) наблюдателя. Если глазная база известна, то ее можно установить на шкале *4*, градуированной в миллиметрах.

Оптическую схему каждого монокуляра составляют: телескопическая система (объектив *5* и окуляр *6*) и призменная оборачивающая система

Порро *7*. В фокальной плоскости объектива правого монокуляра помещена угломерная сетка *8*. Последняя имеет вид, изображенный на рис. 448.

Объектив вместе с призменной оборачивающей системой дает в фокальной плоскости прямое изображение, которое в правом монокуляре совпадает с плоскостью сетки. Это изображение рассматривается через окуляр, как через лупу, в увеличенном виде. Для фокусировки окуляры сделаны передвижными относительно окулярных трубок *9* (рис. 447).

Передвижение окуляра осуществляется его вращением по винтовой нарезке окулярной трубки. С подвижной частью окуляра связано диоптрийное кольцо *10*, на котором нанесена шкала перемещения окуляра в

Рис. 448. Угломерная сетка

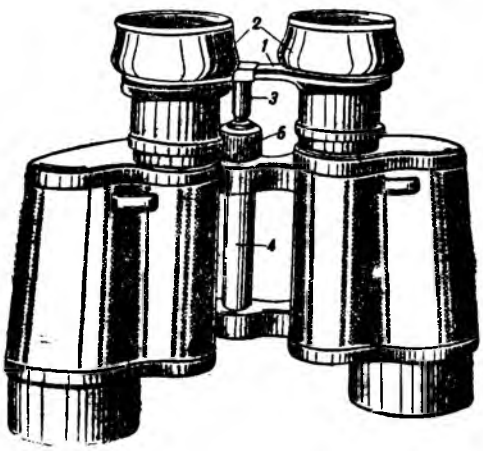


Рис. 449. Призменный бинокль, приспособленный для наблюдения в противогазе:
1 — обойма; *2* — резиновые наглазники; *3* — выдвижная ось; *4* — шарнирная ось; *5* — ролик

диоптриях (в пределах ± 6 диоптрий). Установка „0" шкалы соответствует „нормальному" зрению. Близорукому и дальнозоркому зрению отвечают соответственно установки шкалы „—" и „+".

Бинокль, как всякий бинокулярный прибор, увеличивает радиус стереоскопического зрения, например, для бинокля 6× этот радиус равен примерно 16 *км*.

При наблюдении невооруженными глазами радиус стереоскопического зрения определяется отношением $\frac{b}{\delta}$, а при наблюдении в бинокулярный прибор — отношением $\frac{B}{\delta_1}$, где b — глазная база, δ — разрешающая способность глаза, B — база прибора (расстояние между центрами объективов), δ_1 — разрешающая сила прибора, равная $\frac{\delta}{\gamma}$.

Таким образом, радиус стереоскопического зрения при наблюдении в бинокулярный прибор определяется равенством

$$R = \frac{B}{\delta_1}, \quad \text{или} \quad R = \frac{b}{\delta} \cdot \frac{B}{b} \gamma. \tag{5}$$

Отношение $\frac{B}{b}$ называют удельной пластичностью, а величину $\frac{B}{b}\gamma = \Pi$ — полной пластичностью. Величина П определяет, во сколько раз увеличивается предел стереоскопического зрения при наблюдении через данный прибор.

Бинокль 8×40 отличается по внешности от бинокля 6×30 увеличенными размерами и весом. Для получения 8× увеличения при том же поле зрения 8°30′ в нем применен более сложный, пятилинзовый окуляр типа Эрфле с кажущимся полем зрения около 70°.

Эти бинокли имеют следующие характеристики.

Оптические данные биноклей:	8×40	6×30
а) увеличение γ	8×	6×
б) поле зрения $2w$	8°30′	8°30′
в) диаметр объектива D	40 *мм*	30 *мм*
г) диаметр выходного зрачка d	5 *мм*	5 *мм*
д) удаление выходного зрачка p' около	11 *мм*	12 *мм*
е) светосила H	25	25
ж) разрешающая сила	$\leqslant 7''{,}5$	$\leqslant 10''$
з) полная пластичность (средняя)	16	12

Рассмотренные выше бинокли не подходят для наблюдения в противогазе, так как вследствие небольшого удаления выходного зрачка около 50% поля зрения будет срезаться. Для возможности пользоваться биноклем в противогазе удаление выходного зрачка должно быть не менее 19 *мм*.

На рис. 449 показан общий вид бинокля, приспособленного для наблюдения как в противогазе, так и без него. На окулярные трубки этого бинокля свободно надеты обоймы *1* с резиновыми наглазниками *2*. Обоймы закреплены на оси *3*, передвигающейся относительно отверстия шарнирной оси *4*. Закрепление обойм в двух положениях: выдвинутом — для наблюдения без противогаза и вдвинутом — для наблюдения в противогазе, — производится поворачиванием ролика *5*.

3. Перископы

Перископ служит для наблюдения из-за укрытия (из окопа, блиндажа и др.). При наличии угломерной сетки перископом можно пользоваться для корректировки огня, целеуказания, определения дальности (при известных размерах цели) и т. д.

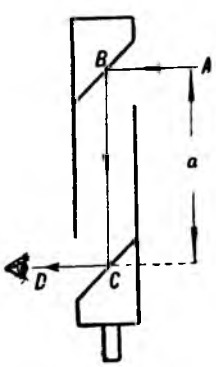


Рис. 450. Зеркальный перископ

Простейшим перископом является зеркальный перископ (рис. 450), состоящий из двух плоских зеркал, поставленных под углом 45° к оси трубы. Благодаря двум отражениям лучи, вышедшие из перископа, оказываются смещенными относительно входящих на величину a, называемую перископичностью прибора.

Перископичность прибора определяется расстоянием между линией визирования AB на наблюдаемый объект, при угле места цели, равном нулю, и линией визирования CD на изображение. Для оптического прибора линией визирования на изображения является оптическая ось окуляра. Перископичность измеряется в миллиметрах или метрах.

Зеркальные перископы обладают небольшим полем зрения и не имеют увеличения.

Для получения увеличения и большего поля зрения применяются оптические перископы, у которых вместо зеркал используются отражательные призмы и в оптическую схему которых входит телескопическая система.

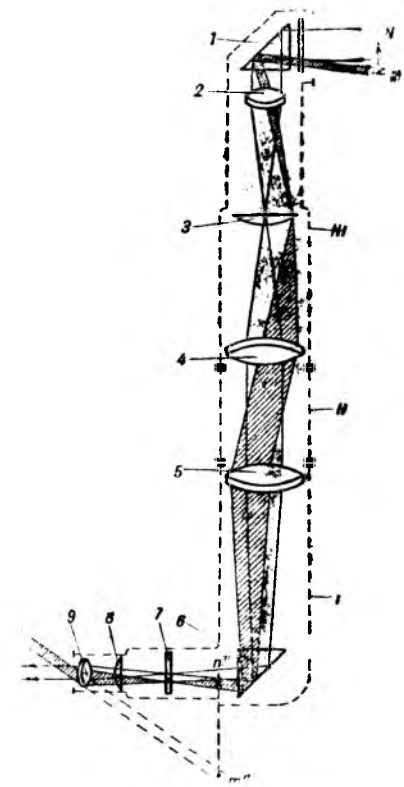


Рис. 451. Схема оптического перископа:

1 — головная призма; *2* — объектив; *3* — коллектив; *4* и *5* — линзы оборачивающей системы; *6* — нижняя отражательная призма; *7* — сетка; *8* — коллективная линза окуляра; *9* — глазная линза окуляра

На рис. 451 представлена оптическая схема перископа, состоящая из: головной отражательной призмы *1*, объектива *2*, линзовой оборачивающей системы *4* и *5*, нижней отражательной призмы *6* и окуляра (коллективной линзы *8* и глазной линзы *9*).

Коллектив *3* служит для собирания лучей к оптической оси прибора и для уменьшения, тем самым, диаметров линз оборачивающей системы. Коллектив на построение изображения не влияет, так как он находится в фокальной плоскости объектива. Сетка *7* помещается в фокальной плоскости окуляра и служит для измерения углов.

Получающееся в фокальной плоскости объектива обратное изображение оборачивается линзами *4* и *5*, давая в фокальной плоскости окуляра прямое изображение. Последнее рассматривается через окуляр, как через лупу.

Если из схемы (рис. 451) исключить призмы, которые не влияют на построение изображений, а только изменяют направление хода лучей, то оптическая схема перископа представит собой как бы две зрительные трубы, обращенные объективами одна к другой: первую зрительную трубу составляют оборачивающая линза *5* (объектив трубы) и окуляр перископа (окуляр трубы), а вторую — линза *4* (объектив) и объектив *2* перископа (окуляр зрительной трубы). Каждая из этих зрительных труб является в свою очередь телескопической системой; поэтому лучи между ними идут параллельным пучком. Вследствие этого расстояние между зрительными трубами (между линзами оборачивающей системы) на построение изображений не влияет.

Это положение используется в перископах для изменения перископичности прибора. Поэтому оптические детали перископа монтируют в двух коленах *I* и *III* (рис. 451), между которыми может быть поставлено дополнительно одно или несколько колен. При этом промежуточные колена никаких оптических деталей не имеют.

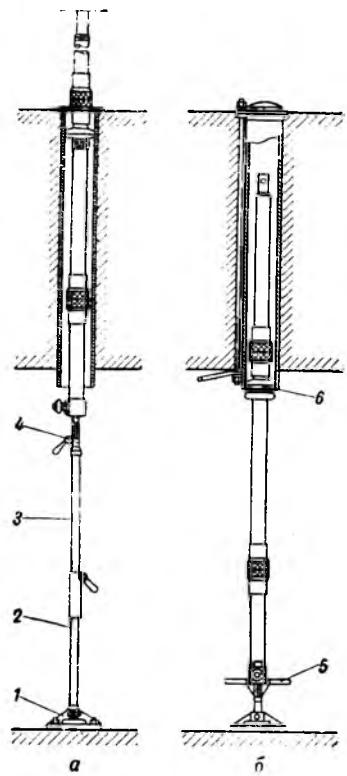


Рис. 452. Перископ сухопутного фронта, установленный в блиндаже:

а — в поднятом положении; *б* — в опущенном положении;

1 — основание; *2* — основная труба; *3* — выдвижная труба; *4* — зажим; *5* — рукоятки; *6* — уплотнительное кольцо

Перископ сухопутного фронта ТЧ (рис. 452) состоит из трех колен. Перископ, собранный в два или три колена, устанавливают на колонку (рис. 452, *а*), состоящую из основания *1*, основной трубы *2*, выдвижной трубы *3* со штырем и зажима *4*. При опущенном положении (рис. 452, *б*) перископ надевают на переходный штырь, укрепленный непосредственно на основании. В нижней части первого колена имеются две рукоятки *5*, при помощи которых перископ вращают относительно колонки при визировании в горизонтальной плоскости. На среднем колене имеется уплотнительное кольцо *6*, которое плотно прилегает к внутренним стенкам обсадной трубы железобетонного перекрытия блиндажа. Уплотнительное кольцо служит для предохранения от попадания внутрь каземата отравляющих веществ и воды.

Данные перископа ТЧ:

а) увеличение . . . . . 4×
б) поле зрения . . . . . 11°
в) перископичность:
при двух коленах . . . . . 1,5 *м*
„ трех „ . . . . . 2,5 *м*

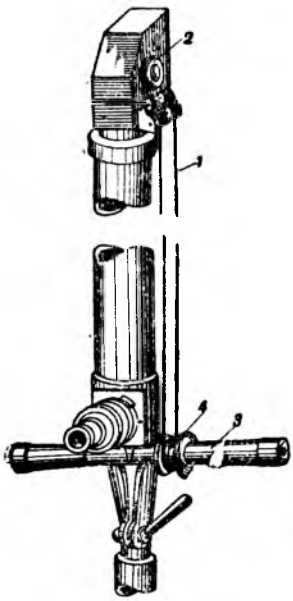


Рис. 453. Перископ Пер-27:
1 — трос; *2* — маховичок; *3* — рукоятка; *4* — барабанчики

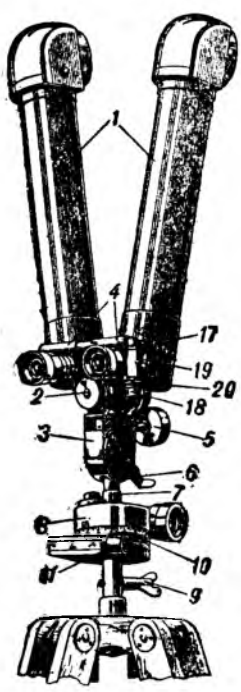


Рис. 454. Большая стереотруба:
1 — трубы; *2* — шарнирная ось; *3* — держатель; *4* — раздвижные части шкалы расстояния между центрами окуляров; *5* — маховичок; *6* — зажим; *7* — штырь лимба; *8* — лимб; *9*—зажимной винт; *10* — кольцо угломера; *11* — барабанчик нижнего червячного механизма; *17* — боковой уровень; *18* — барабанчик механизма уровня; *19* — шкала уровня; *20* — кольцо барабанчика

Для увеличения угла обзора в вертикальной плоскости в перископах Пер-27 (рис. 453) рассматриваемого типа головная отражательная призма сделана качающейся. Вращение призмы вокруг горизонтальной оси осуществляется при помощи троса *1*, перекинутого через маховичок *2*. Последний укреплен на оси качания головной призмы. Правая рукоятка *3* связана с двумя барабанчиками *4*, на которые намотан трос. При вращении рукоятки вокруг своей оси трос перематывается с одного барабанчика на другой, при этом поворачивается маховичок *2* вместе с призмой.

Перископ дальнего наблюдения ПДН по своей оптической схеме отличается от перископа ТЧ только более сложным, пятилинзовым окуляром.

Перископ ПДН составляют четыре колена, при которых перископичность прибора равна 2,5 *м*. Удалением колен *II*, *III* или обоих перископичность уменьшается соответственно до 2, 1,5 и 1 *м*. Наибольшая высота прибора при выдвинутой трубе колонки равна 4,1 *м*.

Перископ ПДН имеет качающуюся головную призму с устройством, аналогичным перископу Пер-27.

Для измерения горизонтальных углов служит нижнее колено, оканчивающееся лимбом с угломерной шкалой; цена деления шкалы — 0-05 делений угломера. Благодаря наличию нониуса отсчет по шкале может производиться с точностью до 0-01 деления угломера. Отсчет производится через лупу, укрепленную на вращающейся части лимба.

Измерение вертикальных углов производится угломерной сеткой, так же как в перископе ТЧ.

Увеличение перископа ПДН — 10× и поле зрения — 5°.

Оба рассмотренных перископа имеют освещение сетки для работы ночью и приспособлены для наблюдения в противогазе.

4. Большая стереотруба

Большая стереотруба (БСТ) является основным углоизмерительным артиллерийским прибором. Она обладает перископичностью и увеличенной в сравнении с биноклем пластичностью. С помощью стереотрубы производится ряд работ, а именно:

а) детальное изучение местности и целей;

б) наблюдение за результатами стрельбы;

в) измерение горизонтальных и вертикальных углов;

г) засечка целей с двух пунктов (сопряженное наблюдение);

д) выполнение как полной, так и ускоренной топографической подготовки и др.

Большая стереотруба (рис. 454) состоит из

двух зрительных труб *1*, вращающихся вокруг шарнирной оси *2*, укрепленной на держателе *3*. Установку расстояния между глазами производят разведением труб. Раздвижные части *4* шкалы глазной базы связаны с обоймами, вращающимися вокруг окулярных трубок. При установке стереотрубы на треноге держатель закрепляют зажимом *6* на штыре *7* лимба *8*. Последний в свою очередь закрепляют на штыре треноги с помощью зажимного винта *9*.

Лимб служит для горизонтального наведения и измерения горизонтальных углов с точностью до 0-01. Лимб имеет кольцо *10* с угломерными делениями через 1-00 и два червячных механизма. Нижний червячный механизм, на оси червяка которого насажен барабанчик *11*, служит для точной наводки стереотрубы без изменения установки на угломерном кольце, а верхний механизм — для точной наводки при измерении горизонтальных углов. Для точного отсчета горизонтальных углов на оси

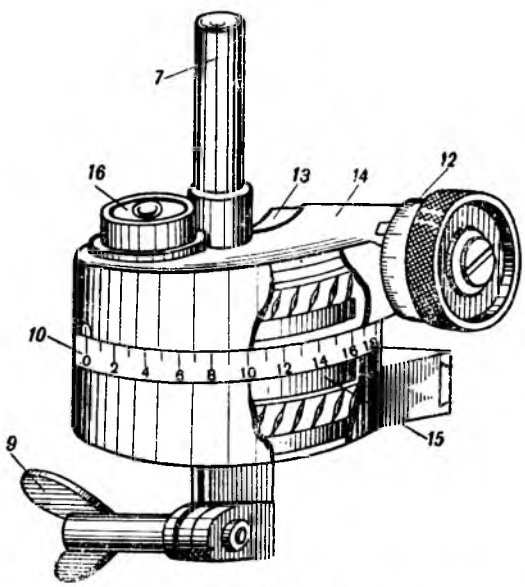


Рис. 455. Лимб:

7 — штырь; *9* — зажимной винт; *10* — кольцо угломера; *12* — кольцо барабанчика; *13* — отводка; *14* — верхняя крышка; *15* — червячный барабан; *16* — шаровой уровень

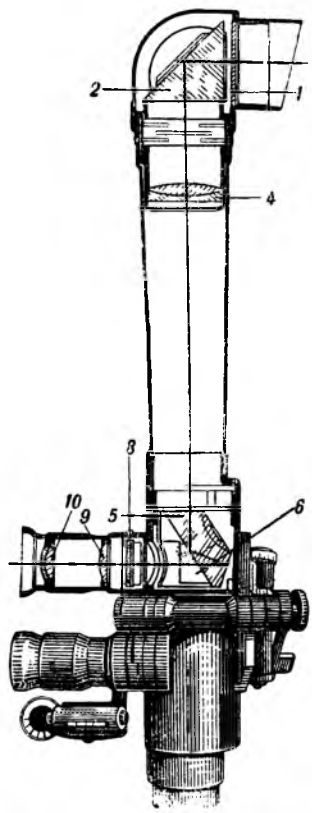


Рис. 456. Оптическая схема стереотрубы:

1 — защитное стекло; *2* — головная отражательная призма; *4* — объектив; *5* и *6* — призмы; *8* — сетка; *9* — коллективная линза окуляра; *10* — глазная линза окуляра

верхнего червяка (рис. 455) укреплено кольцо *12* барабанчика, с делениями через 0-01. Верхний червяк вращается в подшипниках эксцентричной втулки, удерживающей червяк с помощью спиральной пружины в зацеплении. Для быстрого вращения стереотрубы червяк выводят из зацепления поворотом эксцентричной втулки при помощи отводки *13*. При этом верхняя крышка *14* лимба вместе с трубой может быть свободно повернута относительно червячного барабана *15*, удерживаемого нижним червяком. При вращении же нижнего червяка поворачивается червячный барабан с угломерным кольцом вместе с верхней крышкой лимба; при этом установка лимба не изменяется.

Горизонтирование стереотрубы осуществляют по шаровому уровню *16*, укрепленному на верхней крышке лимба.

Вертикальные углы измеряют механизмом бокового уровня. Последний укреплен на обойме, охватывающей правую окулярную трубку. С помощью маховичка *5* (рис. 454) труба вместе с боковым уровнем *17*

получает при вертикальной наводке соответствующий угол наклона к горизонту. Этот угол измеряют вращением барабанчика *18* до приведения пузырька уровня на середину. Отсчет больших делений угломера производится по шкале *19*, нанесенной в пределах ±3-00, а малых делений — по кольцу *20* барабанчика.

Оптическая схема (рис. 456) каждой трубы состоит из: защитного стекла *1*, головной отражательной призмы *2*, объектива *4*, двух призм *5* и *6* и окуляра, состоящего из коллективной линзы *9* и глазной линзы *10*. В фокальной плоскости окуляра правой трубы помещена угломерная сетка *8*, аналогичная сетке бинокля.

Для работы ночью сетка освещается через прорезь в окулярной трубке, для чего применяют патрон с электрической лампочкой, надевающийся на направляющие выступы правой окулярной трубки.

Оптические данные стереотрубы:

а) увеличение γ . . . . . 10×
б) поле зрения $2w$ . . . . . 5°
в) действующий диаметр объектива D . . . . . 50 *мм*
г) диаметр выходного зрачка d . . 5 „
д) светосила H 25
е) разрешающая сила . . . . . ⩽6″,0
ж) полная пластичность:
при сведенном положении труб 30
„ разведенном „ „ 110
з) перископичность . . . . . 300 *мм*

5. Буссоль системы Михайловского—Турова (БМТ)

Буссоль (рис. 457) служит для придания основному орудию и другим приборам ориентирного направления. Буссоль применяется для решения ряда задач, как то: а) для определения магнитного азимута (буссоли направления); б) измерения горизонтальных и вертикальных углов; в) целеуказания и г) наблюдения за полем боя.

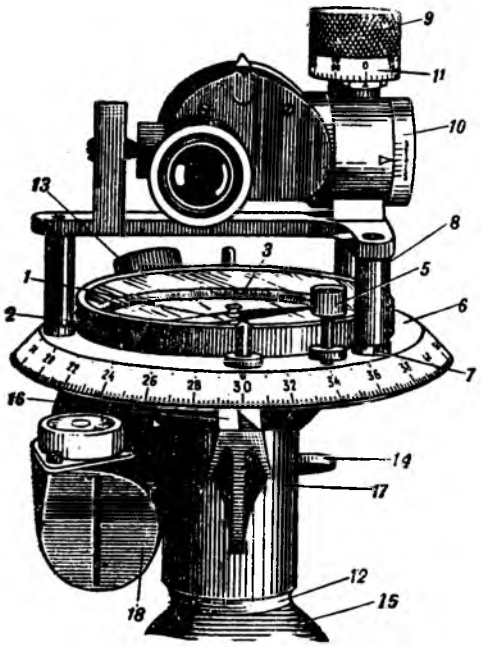


Рис. 457. Буссоль:

1 — магнитная стрелка; *2* — коробка буссоли; *3* — буссольный круг; *5* — зажим тормоза стрелки; *6* — угломерный круг; *7* — штифты; *8* — ножки; *9* — барабанчик; *10* и *11* — шкалы; *12* — ось; *13* — зажим угломерного круга; *14* — зажимной барашек; *15* — шаровая пята; *16* — указатель; *17* — основание; *18* — визирная трубка

Для определения магнитного азимута служит магнитная стрелка *1*, вращающаяся на игле в центре коробки *2*. При отпущенном состоянии стрелка устанавливается по направлению магнитного меридиана. Отсчет буссоли направления производится по шкале буссольного круга *3*, против северного (синего) конца стрелки. Для арретирования магнитной стрелки служит тормоз, прижимающий стрелку к стеклу коробки при ввинчивании зажима *5*.

Коробка буссоли укреплена в центре угломерного круга *6*, на скошенном срезе которого нанесена шкала с ценой деления 0-20, соответствующей цене деления буссольного круга.

Диаметры 30-00 обоих кругов (угломерного и буссольного) совпадают. Над соответствующими делениями угломерного круга нанесены точки, обозначающие величину синуса углов. Число мест точек, счет которых ведется от 0 и 30 в обе стороны, показывает число десятых величины синуса; четные числа десятых обозначены двумя точками, а нечетные — одной. Над делениями 15 и 45 нанесены три точки, обозначающие величину синуса, равную единице.

На угломерном круге укреплены три штифта *7*, на которые надевают ножки *8* основания съемного монокуляра; оптическая ось монокуляра, когда он укреплен на буссоли, параллельна диаметру 30-00 кругов.

Монокуляр представляет собой в уменьшенном виде половину призменного бинокля. Для измерения вертикальных углов монокуляр вращают с помощью барабана *9* вокруг горизонтальной оси. Отсчет вертикальных углов производится по шкалам *10* (укрепленной на правой цапфе монокуляра) и *11* (нанесенной на кольце барабана *9*). Шкала *10* проградуирована в пределах ± 3-00, с ценой деления 1-00. Цена деления шкалы *11* точного отсчета — 0-02.

Для грубой наводки монокуляр имеет целик и мушку.

Горизонтальная наводка прибора осуществляется вращением угломерного круга вместе с монокуляром вокруг оси *12*, являющейся основанием прибора.

Угломерный круг закрепляют в любом положении вращением зажима *13*.

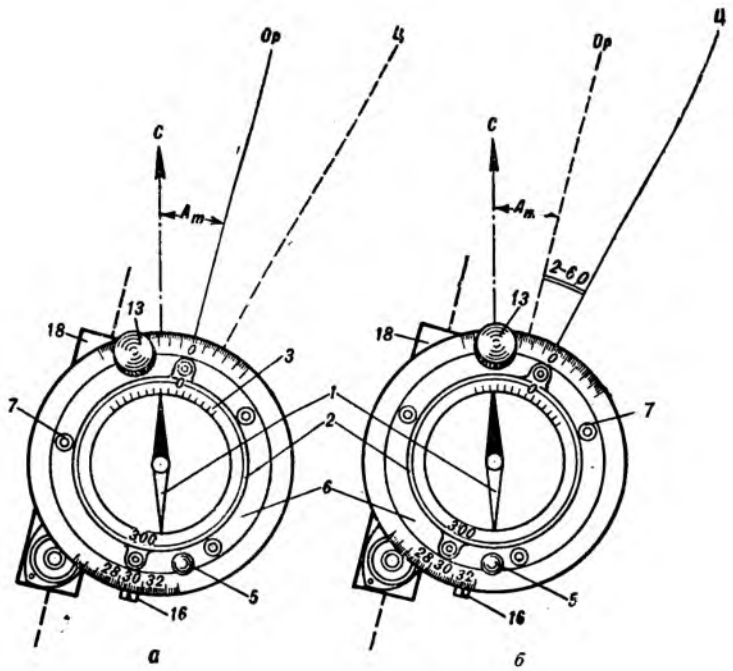


Рис. 458. Работа буссолью:

а — измерение буссоли направления на ориентир; *б* — измерение горизонтального угла между ориентиром и целью

Для отсчета по шкале угломерного круга служит указатель *16* (рис. 457), который составляет одно целое с трубчатым основанием *17*, свободно вращающимся вокруг оси прибора. На этом же основании укреплена визирная трубка *18*, имеющая на одном конце глазной диоптр (в виде прорези), а на другом — предметный диоптр (в виде двух вертикальных проволочек).

Визирная трубка вместе с указателем может быть закреплена на оси в любом положении при помощи зажимного барашка *14*.

Для установки буссоли на треногу на последней имеется подпятник, в котором вертикальная ось прибора, оканчивающаяся шаровой пятой *15*, удерживается при помощи наметки и зажимной гайки.

Горизонтирование прибора производится приведением на середину пузырька шарового уровня, укрепленного на визирной трубке.

Рассмотрим определение буссоли направления на заданный ориентир и измерение горизонтального угла между ориентиром и целью.

При отжатом зажиме угломерного круга вращением последнего монокуляр наводят в ориентир (рис. 458), после чего угломерный круг закрепляют и отпускают тормоз магнитной стрелки. Буссолью направления на ориентир является отсчет A_m по буссольному кругу против синего конца отпущенной магнитной стрелки.

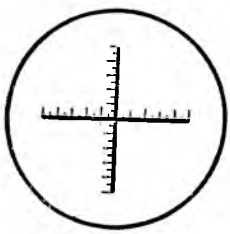


Рис. 459. Сетка монокуляра

Для измерения угла между ориентиром и целью необходимо при зажатом угломерном круге освободить зажим визирной трубки и после совмещения указателя с делением 30-00 угломерного круга (рис. 458, *а*) снова закрепить визирную трубку. Отпустив угломерный круг, наводят монокуляр в цель (рис. 458, *б*) и против указателя производят отсчет. Разность между снятым отсчетом и 30-00 (если отсчет больше 30-00) или между 30-00 и снятым отсчетом (если он меньше 30-00) является искомым углом.

Буссоль цели может быть прочитана на буссольном круге, против северного конца отпущенной стрелки.

Измерение угла между двумя точками может производиться также наведением в одну точку монокуляра, а во вторую — визирной трубки или последовательным визированием в обе точки только одной визирной трубки.

Если обе точки находятся в поле зрения монокуляра, то угол между ними может быть измерен с помощью сетки. Вид сетки монокуляра представлен на рис. 459. Расстояние между двумя соседними делениями сетки соответствует углу в 0-05.

Данные монокуляра буссоли:

а) увеличение	6×
б) поле зрения	6°30′ (около 1-10)
в) диаметр объектива	15 *мм*
г) » выходного зрачка	2,5 *мм*
д) светосила	6,25
е) разрешающая сила	⩽ 10″

6. Принцип измерения дальности

В основе измерения дальности лежит принцип угловых засечек, производимых с концов базы B (рис. 460), и решение так называемого дальномерного (измерительного) треугольника, расположенного в плоскости, проходящей через базу и цель.

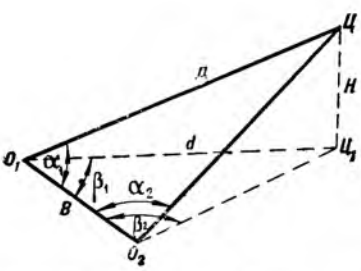


Рис. 460. Измерение дальности

Из треугольника $O_2O_1Ц$ наклонная дальность $Д$ может быть получена решением зависимости

$$Д = \frac{B \sin \alpha_2}{\sin (\alpha_1 + \alpha_2)}. \qquad (6)$$

При использовании углов в горизонтальной плоскости β_1 и β_2 в результате решения треугольника $O_2O_1Ц_1$ получим горизонтальную (топографическую) дальность:

$$d = \frac{B \sin \beta_2}{\sin (\beta_1 + \beta_2)}. \qquad (7)$$

Угловые засечки (измерение углов) можно производить с помощью каких-нибудь углоизмерительных приборов, например стереотрубами, расположенными на концах базы.

В этом случае для получения необходимой точности определения дальности величина базы должна быть взята достаточно большой. На-

пример, для получения дальности с точностью в 1% при точности измерения углов в 0·01 величина базы должна быть порядка одной четвертой определяемой дальности.

Дальномеры, у которых измерение углов производят с концов базы, расположенной на местности, называют дальномерами с базой на местности или внебазными.

Внебазные дальномеры требуют громоздкой организации их работы: разбивка базы и ее измерение, установление связи между пунктами, целеуказание и др. Все это значительно усложняется при определении дальности до цели, движущейся с большой скоростью.

Указанные недостатки отпадают при применении так называемых внутрибазных (оптических) дальномеров, у которых благодаря большой точности измерения угла величина базы сравнительно невелика. У таких дальномеров база находится внутри прибора как его конструктивный размер.

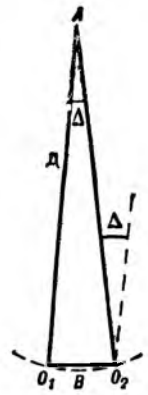


Рис. 461. Измерительный треугольник

В основе измерения дальности оптическим дальномером лежит решение того же измерительного треугольника (рис. 461) с той лишь разницей, что в нем одна сторона — база B — очень мала по сравнению с другой искомой стороной — дальностью.

Вследствие малости параллактического угла Δ дальность может быть выражена с достаточной точностью зависимостью

$$Д = \frac{B}{\Delta}. \tag{8}$$

Так как величина базы для данного дальномера постоянная, то для определения дальности достаточно измерить только угол Δ. Если задаться дальностью 8000 *м*, то Δ будет около 50″.

Измеряемые оптическим дальномером параллактические углы обычно не превышают нескольких минут.

Для выяснения зависимости между точностью измерения угла Δ и точностью определения дальности логарифмируем и диференцируем равенство (8):

$$\lg Д = \lg B - \lg \Delta;$$

$$\left|\frac{d(Д)}{Д}\right| = \left|\frac{d(B)}{B}\right| + \left|\frac{d(\Delta)}{\Delta}\right|. \tag{9}$$

Так как величина базы может быть в приборе конструктивно обеспечена с большой точностью (с ошибкой меньше 0,1%), то, пренебрегая относительной ошибкой в базе, получим:

$$\frac{d(Д)}{Д} = \frac{d(\Delta)}{\Delta}, \tag{10}$$

т. е. относительная ошибка определения дальности равна относительной ошибке измерения параллактического угла.

Таким образом, для получения дальности в 8000 *м* с точностью в 1% необходимо параллактический угол измерять с ошибкой, не превышающей 0″,5. Отсюда следует, что оптический дальномер должен быть весьма точным прибором, обеспечивающим измерение малых углов с большой точностью.

Существуют два отличных друг от друга принципа, положенные в основу измерения дальности в оптических дальномерах. Первый принцип заключается в использовании разрешающей способности глаза различать смещение, одной относительно другой, двух вертикальных линий,

находящихся на угловом расстоянии, большем чем 10″. Второй принцип основан на использовании свойств стереоскопического зрения двумя глазами.

Дальномеры, в основу которых положен первый принцип, называют монокулярными, а дальномеры, в основу которых положен второй принцип, — стереоскопическими.

7. Принцип устройства монокулярных дальномеров

Рассмотрим принципиальную схему (рис. 462) монокулярного дальномера. Два отражателя S_1 и S_2, расположенные под углом 45° к общей оптической оси двух объективов $Об_1$ и $Об_2$, отражают идущие от предмета лучи внутрь дальномера. Расстояние по оси прибора A_1A_2 между концевыми отражателями является базой дальномера.

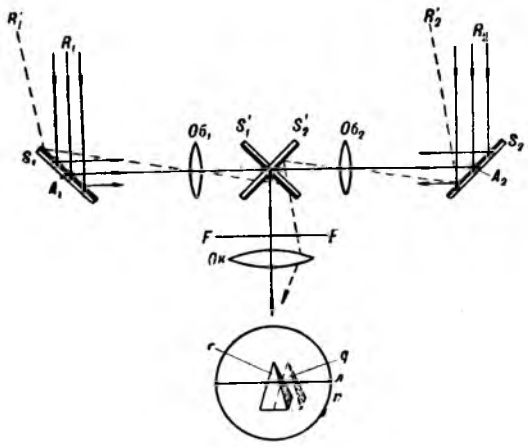


Рис. 462. Принципиальная схема монокулярного дальномера

Пройдя объективы, лучи отражаются центральными отражателями S_1' и S_2' и попадают в один окуляр, в фокальной плоскости FF которого получаются изображения, даваемые объективами.

На этой схеме показаны простейшие отражатели в виде плоских зеркал. Центральные зеркала, перпендикулярные друг к другу и параллельные концевым отражателям, расположены таким образом, что плоскость их раздела лежит на оптической оси и совпадает с плоскостью измерительного треугольника (плоскость чертежа).

Лучи, идущие из правого объектива, отражаются зеркалом и дают изображение в нижней половине поля зрения n, так как вторая половина поля зрения $л$ срезается зеркалом S_1'. В верхней половине поля зрения получается изображение, даваемое левым объективом. Обе половины поля зрения резко разграничены горизонтальной линией раздела, которая является изображением плоскости раздела центральных зеркал.

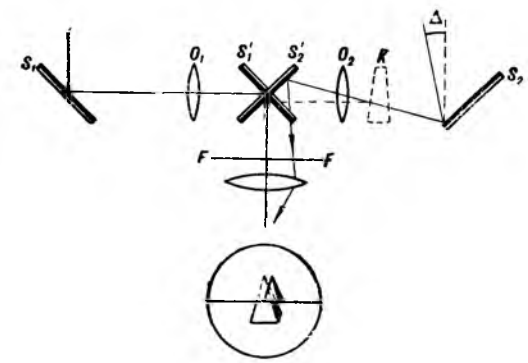


Рис. 463. Компенсация параллактического угла при помощи клина

Если предмет находится в направлении перпендикуляра к середине базы на бесконечно большом расстоянии, то лучи R_1 и R_2, падающие на оба концевых отражателя, между собой параллельны ($\Delta = 0$); после отражения лучи идут параллельно главной оптической оси. В центре поля зрения в этом случае видно изображение предмета, нижнюю часть которого дает правый объектив, а верхнюю — левый объектив.

Обе половины изображения r в этом случае будут совмещены, так как лучи, идущие от обоих объективов, поступают в окуляр по одному направлению.

Следует отметить, что в поле зрения окуляра будут видны прямые изображения только в том случае, если центральные отражатели будут являться одновременно и оборачивающими системами.

Нетрудно видеть, что если предмет, оставаясь на бесконечности, находится не в направлении перпендикуляра к середине базы, а в стороне, то обе половины изображения q остаются совмещенными, но не в центре поля зрения (ход лучей для этого случая показан пунктиром).

Пусть теперь предмет находится на конечном расстоянии. Направим дальномер так, чтобы в левый объектив лучи от предмета шли параллельно главной оптической оси (рис. 463). Тогда лучи, идущие от концевого отражателя S_2, будут составлять с оптической осью угол Δ. При этом изображение, даваемое левой частью, будет смещено относительно нижнего изображения.

Чем больше параллактический угол (чем меньше расстояние до предмета), тем больше будут смещены обе половины изображения.

Для измерения параллактического угла, отвечающего величине смещения изображений, поставим перед правым объективом клин [1] K. При этом преломляющий угол клина возьмем таким, чтобы лучи после него пошли параллельно оптической оси. Тогда имеющийся в оптической системе параллактический угол будет скомпенсирован, и верхнее изображение совместится с нижним.

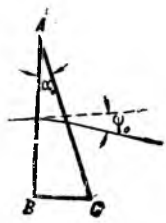


Рис. 465. Отклонение луча при преломлении через клин

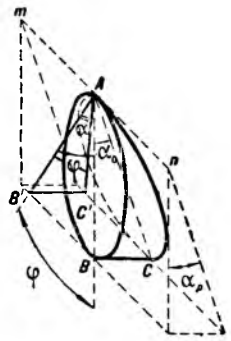


Рис. 464. Клин

Чтобы иметь возможность скомпенсировать в известных пределах любой параллактический угол, применяют специальное устройство, позволяющее получать переменный преломляющий угол.

По величине изменения преломляющего угла можно судить о величине компенсируемого им угла Δ. Такое устройство называют измерительным компенсатором.

Основным элементом измерительного компенсатора является круглый клин (рис. 464), вырезанный из треугольной призмы.

Для луча, падающего на клин в его главном сечении ABC под углом, близким к прямому (рис. 465), существует следующая зависимость:

$$\psi_0 = (n - 1)\,\alpha_0,$$

где n — показатель преломления стекла клина.

В сечении ABC (рис. 464), составляющем с главным сечением угол φ, при вершине A будет угол α, отличный от α_0.

Если такой клин K (рис. 463) поставить перед правым объективом так, чтобы преломляющее ребро было перпендикулярно к оптической оси, то можно подобрать такой угол поворота клина φ, при котором отклонение луча

$$\psi = (n - 1)\,\alpha \qquad (11)$$

полностью скомпенсирует имеющийся параллактический угол.

Однако в таком виде компенсатор не может быть применен, так как при вращении клина (рис. 466) отклоненный им луч, оставаясь в его главном сечении, вращается в том же направлении, описывая конус вокруг своего первоначального направления.

Такому вращению клина будет отвечать перемещение изображения в верхней половине поля зрения дальномера не только в плоскости измерительного треугольника (вдоль линии раздела), но и в перпендикулярном направлении (по высоте относительно линии раздела) (рис. 467).

---

[1] Клином называется треугольная призма с малым преломляющим углом.

Перемещение изображения по вертикали вызывает так называемое расстройство по высоте.

Из рис. 467 видно, что расстройство по высоте не дает возможности точно совместить обе части изображения предмета. Поэтому в качестве вращающегося компенсатора употребляют двухклиновый измерительный компенсатор (рис. 468), состоящий из двух одинаковых клиньев K_1 и K_2. При помощи передачи клинья поворачивают в разные стороны на один и тот же угол.

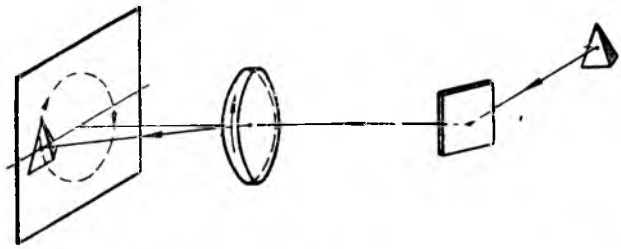


Рис. 466. Перемещение изображения при вращении клина

Пусть при отсутствии компенсатора изображение находится в точке *1* (рис. 469) поля зрения. Примем за исходное положение каждого клина такое, при котором изображение смещается параллельно линии раздела. Включением одного клина в исходном положении изображение переместится в точку *2* на величину r. Повернем его на угол φ по часовой стрелке. Изображение перейдет в точку *3*, в которой оно окажется смещенным относительно своего первоначального положения на $r\cos\varphi$ вдоль линии раздела и на $r\sin\varphi$ по высоте. Включим теперь второй клин в его исходном положении. Изображение перейдет в точку *4*. После поворота клина против часовой стрелки на угол φ изображение окажется смещенным относительно точки *3* на $r\cos\varphi$ вдоль линии раздела и на $-r\sin\varphi$ по высоте.

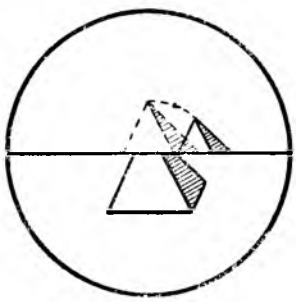


Рис. 467. Расстройство по высоте, получающееся при поступательном вращении изображения

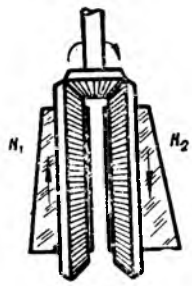


Рис. 468. Двухклиновый компенсатор

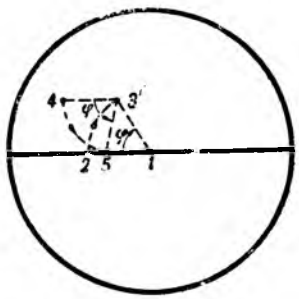


Рис. 469. Перемещение изображения при работе двухклинового компенсатора

Таким образом, применением двухклинового компенсатора вертикальные перемещения изображения от каждого клина взаимно уничтожаются, а горизонтальное перемещение удваивается. При этом угол отклонения луча двумя клиньями компенсатора будет:

$$\psi = 2(n-1)\alpha_0\cos\varphi. \qquad (12)$$

Полной компенсации параллактического угла отвечает равенство

$$\psi = |-\Delta|. \qquad (13)$$

На основании выражения (13) можно написать:

$$Д = \frac{B}{2(n-1)\alpha_0} \cdot \frac{1}{\cos\varphi}, \tag{14}$$

или, заменяя постоянный множитель через C, получим:

$$Д = \frac{C}{\cos\varphi}. \tag{15}$$

Формула (15) дает возможность связать с углом разворота клиньев шкалу, проградуированную непосредственно в дальности, при этом шкала дальности получается неравномерной.

Монокулярные дальномеры бывают нескольких типов, отличающихся между собой видом поля зрения.

Дальномеры типа „коинциденц" имеют в поле зрения обе половины изображения прямыми (рис. 470, *а*); дальномеры типа „инверт" имеют верхнее изображение перевернутым, являющимся зеркальным изображением нижнего (рис. 470, *б* и *в*).

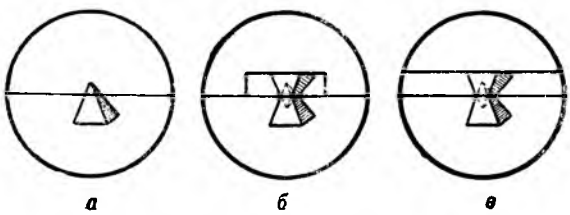


Рис. 470. Виды поля зрения монокулярных дальномеров:

а — „коинциденц"; *б* и *в* — „инверт"

Для удобства наблюдения в дальномер участок перевернутого изображения ограничивается „окном в поле зрения" (рис. 470, *б*) или „щелью в поле зрения" (рис. 470, *в*).

Вид поля зрения обусловливается исключительно конструкцией центральных отражателей (призм). На рис. 471 представлена схема наиболее простой центральной призмы, употребляемой в дальномере с малой базой (0,70 *м* и др.). Она состоит из склеенных между собой крышеобразной призмы *а* и треугольной призмы *б*. В плоскости склейки одна из призм (*в*) частично серебрится либо в виде щели, либо в виде прямоугольника.

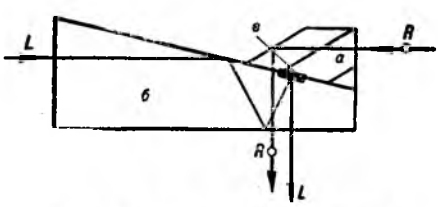


Рис. 471. Центральная призма

Луч L, идущий из левой части после двух отражений, отражается в третий раз от посеребренной части в плоскости склейки и выходит в окуляр. В результате трех отражений изображение получается обратным и ограниченным размерами посеребренной части (*в*). Другая призма, благодаря наличию крыши, дает прямое изображение с соответствующим посеребренной части вырезом в поле зрения.

8. Точность измерения дальности оптическими дальномерами

Точность измерения дальности зависит от точности совмещения изображений, т. е. от разрешающей силы глаза наблюдателя.

Для выяснения этой зависимости воспользуемся формулой (10):

$$\frac{d(Д)}{Д} = \frac{d(\Delta)}{\Delta}.$$

Подставляя вместо Δ его выражение из равенства (8) и полагая ошибку измерения параллактического угла равной разрешающей силе глаза δ, будем иметь:

$$\frac{d(Д)}{Д} = \frac{\delta Д}{B}. \tag{16}$$

Так как ошибке δ в поле зрения окуляра отвечает ошибка в истинном поле зрения в γ раз меньшая, то в равенстве (16) нужно вместо δ взять $\frac{\delta}{\gamma}$, т. е.

$$\frac{d(Д)}{Д} = \frac{\delta Д}{\gamma B}, \tag{17}$$

или

$$d(Д) = \frac{\delta Д^2}{\gamma B}. \tag{18}$$

Разрешающая сила глаза δ принимается равной 10″ (48,5. 10^{-6} рад.). Ошибка, вычисленная по формуле (18), называется **теоретической ошибкой дальномера**. Из выражения (18) следует, что теоретическая ошибка дальномера пропорциональна квадрату дальности и обратно пропорциональна увеличению и базе дальномера. Для удобства вычисления теоретической ошибки следует величину δ брать выраженной в радианах.

$$d(Д) = \frac{48{,}5\, Д^2}{B\gamma}, \tag{19}$$

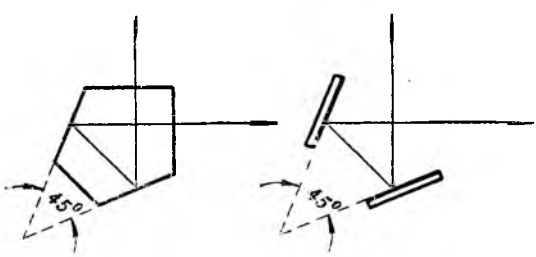
где $d(Д)$ и B выражены в метрах, а $Д$ — в километрах.

Ниже сведены в таблицу теоретические ошибки для некоторых имеющихся на вооружении дальномеров.

Таблица 70

$Д$ в км	$B = 0{,}7$ м; $\gamma = 10\times$		$B = 1{,}25$ м; $\gamma = 15\times$		$B = 2$ м; $\gamma = 24\times$		$B = 4$ м; $\gamma = 24\times$	
	$d(Д)$ м	$\frac{d(Д)}{Д}$ %	$d(Д)$ м	$\frac{d(Д)}{Д}$ %	$d(Д)$ м	$\frac{d(Д)}{Д}$ %	$d(Д)$ м	$\frac{d(Д)}{Д}$ %
1	6,9	0,69	2,6	0,26	1,0	0,1	0,5	0,05
3	62,3	2,08	23,3	0,78	9,1	0,3	4,6	0,15
5	173,0	3,43	64,7	1,29	25,2	0,5	12,6	0,25
7	340,0	4,85	127,0	1,81	49,6	0,71	24,8	0,35
10	692,0	6,92	259,0	2,59	101,0	1,01	50,6	0,51

Действительные ошибки при непосредственном измерении дальности бывают больше указанных в таблице. Практическая ошибка складывается из: 1) ошибки сборки и юстировки дальномера на заводе, выполняющейся с точностью до 0,5 теоретической ошибки; 2) ошибки выверки по дальности (см. ниже), которая может быть выполнена также с точностью до 0,5 теоретической ошибки, и 3) ошибки измерения дальности — 1 теоретической ошибки. Таким образом, при благоприятных условиях видимости, резких очертаниях предмета и натренированности наблюдателя практическая ошибка не должна превосходить 2—3 теоретических ошибок. Неясные очертания предмета и плохие условия видимости понижают точность измерения дальности до 5—7 теоретических ошибок и больше.



а *б*

Рис. 472. Концевые отражатели:
а — пентапризма; *б* — зеркала

Оптический дальномер, будучи весьма чувствительным прибором, подвержен расстройству от ряда причин, к которым относятся: толчки, тряска при транспортировке, неравномерное нагревание корпуса дальномера и др. Все это может привести к взаимным перемещениям оптических деталей, которые хотя и весьма невелики, но вызывают заметное на-глаз смещение

изображения в фокальной плоскости окуляра вследствие большого увеличения прибора.

Различают два вида расстройства дальномера: по высоте и по дальности. Расстройство по высоте обнаруживается тем, что изображения

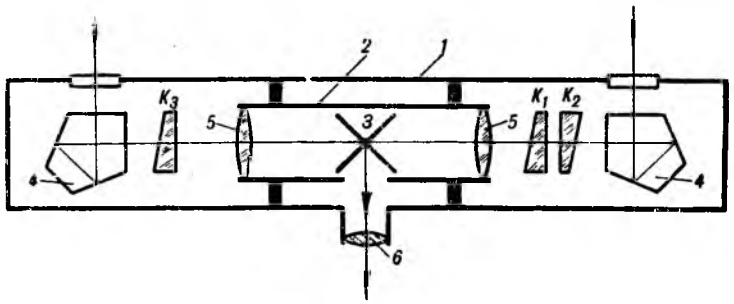


Рис. 473. Схема монокулярного дальномера:

1 — наружная труба; *2* — внутренняя труба; *3* — центральные отражатели; *4* — концевые отражатели; *5* — объективы; *6* — окуляр; K_1, K_2 — клинья измерительного компенсатора; K_3 — клин выверки по дальности

смещены одно относительно другого в вертикальном направлении (рис. 467). Расстройство по дальности обнаруживается несоответствием между показанием дистанционной шкалы и действительной дальностью.

Для уменьшения чувствительности дальномера к расстройству по дальности в качестве концевых отражателей употребляют пентапризмы (рис. 472, *а*) или два плоских зеркала, составляющих между собой угол 45° (рис. 472, *б*).

Поворот пентапризмы вокруг ребра двугранного угла, равного 45°, на ход луча влияния не оказывает.

Наиболее ответственные детали — объективы и центральные отражатели — монтируются в отдельной внутренней трубе (рис. 473). Внутреннюю трубу с наружной соединяют так, чтобы изгибы наружной трубы не передавались внутренней.

Несмотря на это, расстройство дальномера все же имеет место; поэтому в дальномерах применяются выверочные механизмы.

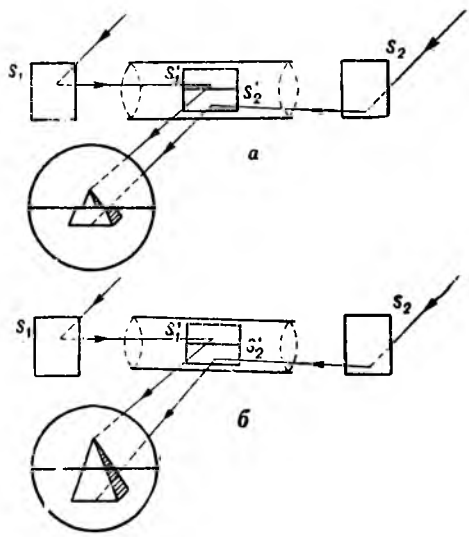


Рис. 474. Выверка по высоте качанием внутренней трубы:

а — дальномер расстроен по высоте; *б* — дальномер выверен по высоте

Выверка по высоте чаще всего достигается качанием внутренней трубы относительно наружной при помощи специального механизма. На рис. 474, *а* показана схема дальномера, расстроенного по высоте.

При повороте внутренней трубы вокруг оси, перпендикулярной к базе и параллельной плоскости измерительного треугольника (рис. 474, *б*), изображения в обеих половинах поля зрения перемещаются перпендикулярно к линии раздела в противоположных направлениях. Соответствующей величиной поворота внутренней трубы достигается выверка по высоте.

Механизм выверки по дальности применяется в виде вращающегося клина K_3 (рис. 473), поставленного перед объективом другой

половины дальномера. Так как вращением выверочного клина изображение получает перемещение по окружности, то диапазон работы клина ограничивается (рис. 475) в пределах такого угла его вращения β, при котором вызываемое расстройство по высоте на концах участка дуги этой окружности будет небольшим.

Для устранения расстройства по высоте, вызываемого выверкой по дальности, выверку дальномера рекомендуется обычно заканчивать повторной выверкой по высоте.

Рис. 475. Перемещение изображения при вращении клина выверки по дальности

9. Монокулярный дальномер ДП

Монокулярный дальномер ДП типа „инверт" с базой 0,70 *м* применяется в стрелково-пулеметных подразделениях для определения дальности до целей.

Дальномер (рис. 476) по внешнему виду представляет собой стальную трубу *1* со средней шаровой частью *2*, по концам которой укреплены кожаные буферы *3*. Последние служат амортизаторами для предохранения дальномера от толчков и тряски при транспортировке его в футляре или при переноске. Дальномер устанавливают на треногу с помощью держателя *4*, которым можно пользоваться как самостоятельной треногой

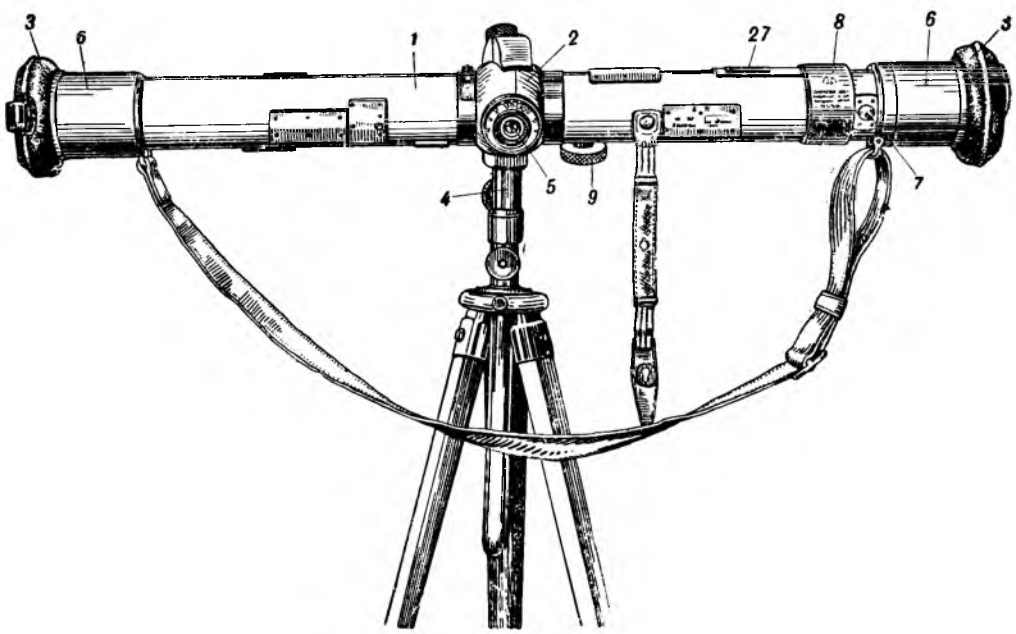


Рис. 476. Монокулярный дальномер ДП:

1 — наружная труба; *2* — шаровая часть; *3* — буферы; *4* — держатель; *5* — окуляр; *6* — кольца; *7* — окно для отсчета по шкале выверки по дальности; *8* — перекрывающее кольцо; *9* — маховичок механизма „земля — воздух"; *27* — измерительный валик

для наблюдения лежа. Наводку дальномера осуществляют одновременным вращением его вокруг горизонтальной и вертикальной осей относительно дугового кронштейна держателя, охватывающего шаровую часть. На средней части укреплен окуляр *5* с диоптрийной шкалой. На концах наружной трубы имеются кольца *6*, перекрывающие концевые окна, когда дальномером не работают. С правой стороны расположен измерительный валик *27*, вращением которого достигается совмещение изображений в поле зрения. Другими видимыми снаружи частями

являются: окно *7* для отсчета по шкале выверки по дальности; перекрывающее кольцо *8*, вращением которого до фиксированных положений открывается доступ к любому из двух выверочных валиков; маховичок *9* механизма „земля — воздух“ и визир „целик — мушка“ для грубой наводки дальномера. Кроме того, с левой стороны впереди имеется окно для освещения внутренней дистанционной шкалы.

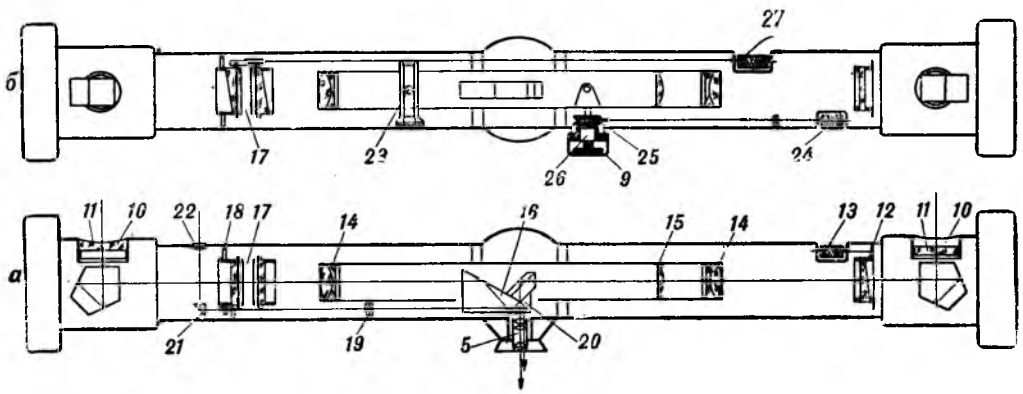


Рис. 477. Схематический разрез дальномера ДП:

а — в плоскости измерительного треугольника; *б* — перпендикулярно плоскости измерительного треугольника; *10* — концевые окна; *11* — защитные стекла; *12* — клин выверки по дальности; *13* — валик выверки по дальности; *14* — объективы; *15* — коррекционная линза; *16* — центральная (окулярная) призма; *17* — измерительный компенсатор; *18* — стеклянное кольцо с дистанционной шкалой; *19* — объектив для получения изображения шкалы; *20* — призма; *21* — осветительная призма; *22* — окно; *23* — ось качания внутренней трубы; *24* — валик выверки по высоте; *25* — червячная передача; *26* — механизм „земля — воздух“; *27* — измерительный валик

Оптическая схема дальномера видна на рис. 477.

На рис. 477, *а* представлен схематический разрез дальномера в плоскости измерительного треугольника, а на рис. 477, *б* — перпендикулярно к плоскости измерительного треугольника.

Лучи, попадающие в правое концевое окно *10*, последовательно проходят следующие оптические детали: защитное стекло *11*, пентапризму, клин *12* выверки по дальности, оправа которого связана передачей с валиком *13* выверки по дальности, правый объектив *14*, коррекционную линзу *15*, центральную призму *16* и окуляр *5*.

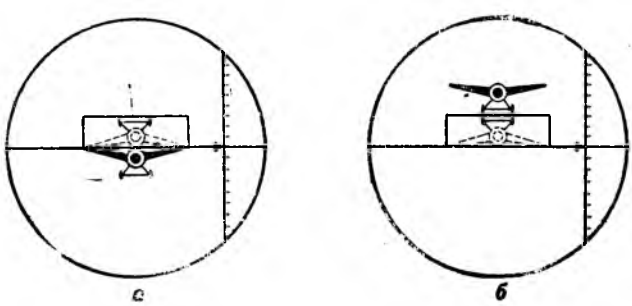


Рис. 478. Вид поля зрения:

а — при установке механизма в положение „земля“; *б* — при положении „воздух“

В левой части трубы перед объективом находится измерительный компенсатор *17*, оправы клиньев которого связаны передачей с измерительным валиком *27*. С измерительным компенсатором скреплено стеклянное кольцо *18*, на которое нанесена видимая в поле зрения дистанционная шкала (рис. 478). Для получения изображения шкалы в поле зрения служат объектив *19* и призмочка *20*, приклеенная к центральной призме. Освещение шкалы осуществляется призмочкой *21*, на которую падает рассеянный свет, проходящий через окно *22*.

Для качания внутренней трубы дальномера относительно оси *23* кольца, укрепленного внутри наружной трубы, служит механизм „земля—воздух“ *26*. Этот же механизм используется для качания трубы при выверке по

высоте с помощью выверочного валика *24*. Валик выверки по высоте связан с механизмом „земля — воздух" карданным валиком и червячной передачей *25*.

Механизм „земля — воздух" предназначается для перевода прямого изображения из нижней части поля зрения в верхнюю при переходе от измерения дальности по наземным целям к измерению по воздушным целям. Его применение связано с тем, что воздушные цели имеют более резкие контуры деталей в своей нижней части (шасси, гондола и др.); поэтому более точное совмещение изображений производится при положении „воздух" по верхней разделительной линии. На рис. 478, *б* показан вид поля зрения при маховичке *9*, повернутом в положение „воздух".

Рис. 479. Выверочная рейка

Выверка дальномера по дальности может быть осуществлена несколькими способами: 1) по рейке; 2) по луне (звезде); 3) по предмету, расстояние до которого точно известно.

Выверочная рейка (рис. 479) состоит из штанги с двумя щитками на концах и ножек для установки ее на земле. На белом фоне щитков нанесены выверочные знаки в виде черной полосы. Расстояние между выверочными знаками равно базе дальномера. Для выверки с помощью рейки последнюю устанавливают на расстоянии не менее 50 *м* от дальномера горизонтально и параллельно трубе дальномера.

При наведении дальномера идущие от выверочных знаков в объективы лучи между собой параллельны (рис. 480); следовательно, выверочные знаки рейки являются предметом, искусственно отнесенным в бесконечность. Процесс выверки состоит в установке измерительным валиком знака ∞ на дистанционной шкале и в совмещении изображений валиком выверки по дальности, как показано на рис. 480.

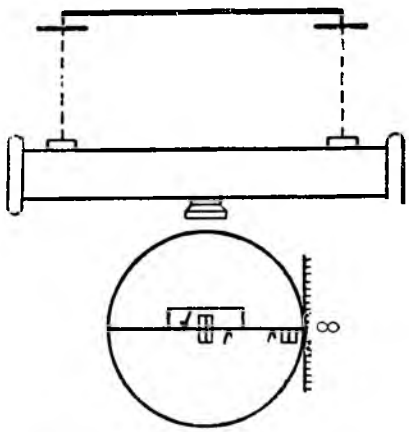


Рис. 480. Выверка монокулярного дальномера по рейке

Выверку по бесконечности можно производить по луне или звезде.

Выверка по предмету, расстояние до которого известно, отличается от предыдущего способа тем, что на дистанционной шкале устанавливают действительную дальность до предмета. Во всех случаях выверки по дальности рекомендуется производить выверку несколько раз (5—10), делая каждый раз отсчет по выверочной шкале. Окончательной установкой выверочной шкалы является средняя арифметическая из сделанных отсчетов.

10. Монокулярный дальномер ДК

Монокулярный дальномер ДК типа „инверт" с базой 1,25 *м* применяется в наземной артиллерии. Благодаря наличию на нем горизонтального лимба и механизма углов места цели он может применяться для измерения углов, для целеуказания и др.

С помощью высотомерного механизма могут быть определены высота и горизонтальная дальность до воздушной цели.

Дальномер (рис. 481) для работы устанавливают на головку *1* штатива при помощи рамы, расположенной на средней части трубы *2*. У основания головки имеется вращающийся угломерный лимб с ценой деления в 0-10 для измерения горизонтальных углов. Отсчет с точностью 0-02 деления угломера производится через лупу *3* по нониусу. Для закрепления лимба на основании головки штатива после ориентирования прибора служит зажимное кольцо *4*.

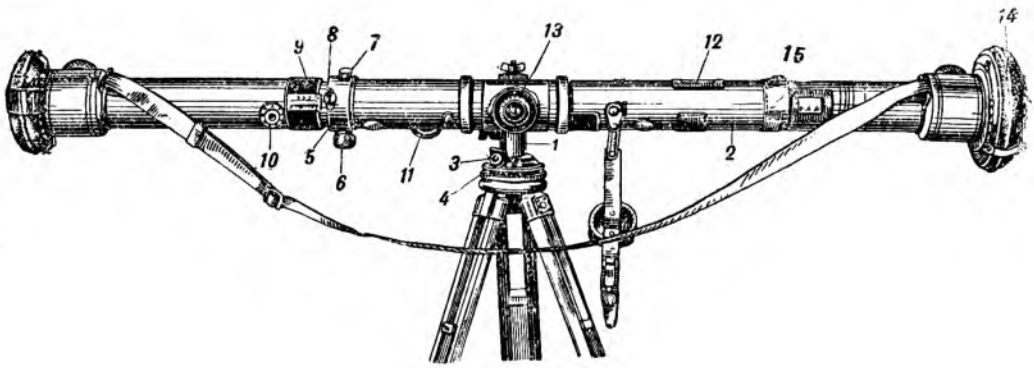


Рис. 481. Монокулярный дальномер ДК:

1 — головка штатива; *2* — труба; *3* — лупа; *4* — зажимное кольцо; *5* — механизм вертикальных углов; *6* — маховичок; *7* — уровень; *8* — лупа; *9* — перекрывающее кольцо; *10*—окно для отсчета по шкале выверки по дальности; *11* — маховичок механизма „земля — воздух"; *12* — измерительный валик; *13* — окуляр; *14* — буфер; *15* — наружная дистанционная шкала

Измерение вертикальных углов производят механизмом *5*, который состоит из обоймы, вращающейся вокруг наружной трубы дальномера при помощи маховичка *6*.

Угол места цели измеряют приведением пузырька уровня *7* на середину. Отсчет производят, наблюдая через лупу *8*, по шкале, скрепленной с трубой дальномера.

Левее механизма углов места цели находится кольцо *9*, перекрывающее валики выверок по дальности и высоте, и окно *10* для отсчета по шкале выверки по дальности. Ближе к средней части дальномера расположен механизм „земля—воздух" с маховичком *11*.

На правой половине дальномера снаружи имеются измерительной валик *12* и дистанционная (наружная) шкала *15* в виде спирали, нанесенной на барабане. Кроме того, имеется еще внутренняя дистанционная шкала, видимая в поле зрения окуляра *13*.

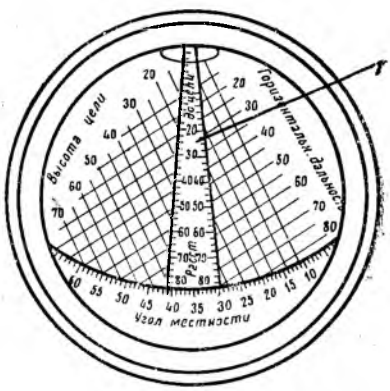


Рис. 482. Маятниковый высотомер:

1 — маятник

Внутри правого буфера *14* помещается маятниковый высотомерный механизм, вид которого изображен на рис. 482. Он состоит из графика линий равных значений горизонтальной дальности и высоты и маятника — линейки *1*. Маятник свободно подвешен внутри цилиндрического плоского стеклянного сосуда, наполненного глицерином для демпфирования качаний маятника. На краях линейки нанесены шкалы наклонной дальности.

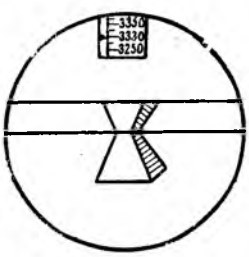


Рис. 483. Вид поля зрения дальномера ДК

Определение высоты производят при наведенном в цель дальномере, считыванием по сетке линий равных высот (черных) против деления левой шкалы маятника, отвечающего измеренной наклонной дальности до цели. Таким же образом определяют горизонтальную дальность, пользуясь линиями равных горизонтальных дальностей (красными) и правой шкалой маятника.

Оптическая схема дальномера ДК принципиально отличается от схемы ДП только более сложной центральной призмой и другим расположением оптических деталей: измерительный компенсатор с дистанционным барабаном находится в правой части дальномера, а клин выверки по дальности — в левой части.

Измерение дальности на дальномере производят вращением измерительного валика до совмещения изображений в поле зрения. Вид поля зрения изображен на рис. 483. Выверка дальномера производится указанными ранее способами.

Основные данные дальномеров	ДК	ДП
а) конструктивные:		
база	125 *см*	70 *см*
пределы дистанционной шкалы	600—15 000 *м*	200—10 000 *м*
б) оптические:		
увеличение	15×	10×
поле зрения	2°40′	3°55′
диаметр выходного зрачка	2,5 *мм*	3 *мм*

11. Стереоскопические дальномеры

Стереоскопический дальномер является бинокулярным прибором, основанным на использовании свойств стереоскопического зрения. С целью повышения степени ощущения глубины рассматриваемого пространства стереодальномеры делаются высокопластичными.

Принципиальная схема стереоскопического дальномера представлена на рис. 484.

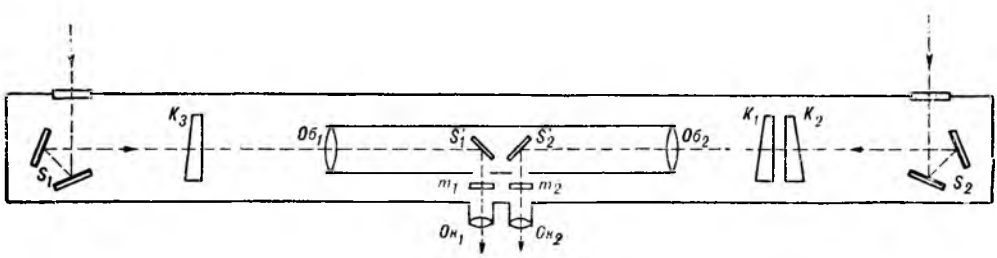


Рис. 484. Схема стереоскопического дальномера

Стереоскопический дальномер состоит из включенных в один общий корпус (трубу) двух самостоятельных оптических систем; каждая из них имеет концевой отражатель S_1 (S_2), объектив $Об_1$ ($Об_2$), центральный отражатель S_1' (S_2) и окуляр $Ок_1$ ($Ок_2$).

В одну из систем включен измерительный компенсатор K_1K_2, а в другую — клин K_3 выверки по дальности. В фокальных плоскостях окуляров помещены две плоско-параллельные пластинки m_1 и m_2 с нанесенными на них измерительными марками. Измерительные марки встречаются двух видов: ромбик и забор (рис. 485) в центре поля зрения. В стороне от центра вверх и вниз расположен ряд меток, служащих только для усиления стереоскопического эффекта.

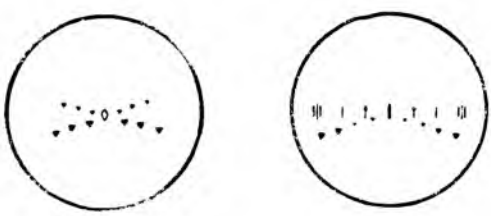


Рис. 485. Виды измерительных марок

Схема действия дальномера следующая. При наблюдении в окуляры оба поля зрения сводятся центральной нервной системой наблюдателя в одно, как и при наблюдении в обычный бинокулярный прибор (бинокль, стереотруба). Расстояние между соответствующими метками обеих марок равно расстоянию между оптическими осями окуляров (линейный параллакс равен нулю), вследствие чего в поле зрения дальномера изображение марки видно отнесенным в бесконечность.

Если навести дальномер на объект, практически бесконечно удаленный, например на звезду, то в фокальных плоскостях окуляров получатся

ее изображения, расположенные относительно измерительной марки совершенно одинаково (линейный параллакс этих изображений вследствие отсутствия параллактического угла Δ равен нулю). В этом случае в поле зрения дальномера наблюдатель не будет ощущать взаимного удаления между изображениями звезды и марки; оба объекта находятся в одной бесконечно удаленной плоскости и поэтому будут казаться на одном расстоянии.

При наведении дальномера в цель ее изображения в фокальных плоскостях имеют некоторый линейный параллакс, так как падающие на концевые отражатели лучи составляют параллактический угол, определяемый формулой

$$Д = \frac{B}{\Delta}.$$

При величине Δ большей, чем точность стереоскопического восприятия (10″), цель будет казаться ближе или дальше, чем изображение измерительной марки, в зависимости от положения клиньев измерительного компенсатора.

Для измерения дальности до цели достаточно измерительным компенсатором измерить (скомпенсировать) имеющийся параллактический угол. Полной компенсации угла Δ соответствует как бы отнесение изображения цели в бесконечность.

Таким образом, работа на стереодальномере по измерению дальности состоит в совмещении измерительным валиком изображений цели и марки по глубине. С измерительным валиком связана наружная дистанционная шкала, по которой считывается дальность.

Необходимо заметить, что при вращении компенсатора наблюдателю кажется, что ромбик (забор) приближается к предмету. Фактически же в поле зрения дальномера происходит перемещение изображения предмета относительно ромбика. Это объясняется психологическим фактором — уверенностью наблюдателя в неподвижности наблюдаемой местности или пространства.

Точность измерения стереодальномером дальности определяется теоретической ошибкой.

Стереоскопические дальномеры употребляются главным образом в зенитной артиллерии; их база — 2 и 4 *м*, увеличение 24×.

В качестве входной величины при вычислении исходных данных для стрельбы зенитной артиллерии принимают высоту цели. Поэтому стереодальномеры с базой 2 и 4 *м* имеют и высотомерный механизм.

Высотомерный механизм предназначается для решения зависимости

$$H = Д \sin \varepsilon, \qquad (20)$$

где H — высота цели;

$Д$ — наклонная дальность;

ε — угол места цели.

Принципиальная схема высотомерного механизма представлена на рис. 486. На стеклянном диске *1* нанесен в полярной системе координат график равных значений высоты. По радиусу-вектору отложены дальность $Д$ (фактически угол разворота φ клиньев компенсатора), а по полярному углу — ε. Диск имеет по окружности коническую шестерню *2*.

При вертикальной наводке дальномера маховиком *3* угол места цели поступает на вращение графика. При вращении измерительного валика *4* плато *5* с диском перемещается пропорционально $Д(\varphi)$. В результате против неподвижного указателя *6* по изовысотной кривой может быть считана высота цели. Отсчет производится через микроскоп коробки высотомерного механизма.

Высотомерный механизм обычно имеет два диска, расположенных один над другим. На втором диске нанесен график кривых согласно выражению

$$d = Д \cos \varepsilon, \qquad (21)$$

где d — горизонтальная дальность.

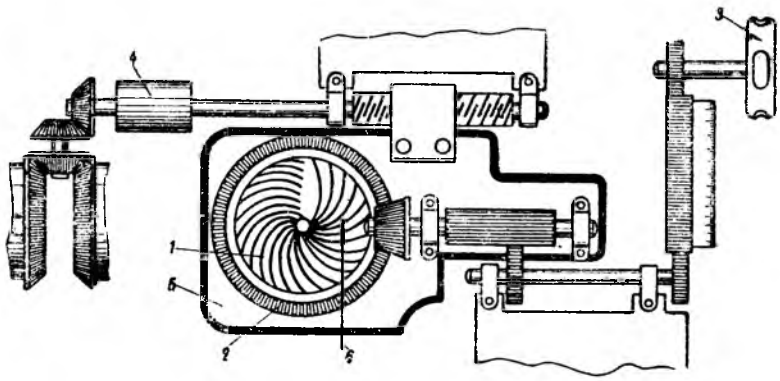


Рис. 486. Схема высотомерного механизма:

1 — график; *2* — коническая шестерня; *3* — маховик вертикальной наводки дальномера; *4* — измерительный валик; *5* — шкала; *6* — неподвижный указатель

Для перефокусирования микроскопа на второй диск при определении горизонтальной дальности специальным рычажком включается дополнительная линза.

12. Звуковая засечка целей

Значительно возросшие дальности стрельбы артиллерии с применением навесного огня, развитие приборов, обеспечивающих стрельбу с закрытых позиций, а также применение авиацией аэронавигационных средств для совершения слепых полетов (ночью, за облаками) вызвали необходимость применения специальных средств для обнаружения целей и их засечки тогда, когда визуальное (оптическое) наблюдение невозможно. Такими средствами явились акустические приборы, основанные на использовании акустической (звуковой) энергии, излучаемой звучащими целями (стреляющая батарея, самолет и т. п.) при их действии.

Различают два рода звуков: 1) длительные звуки как следствие продолжительного непрерывного процесса незатухающих колебаний (шум самолета, дирижабля и др.), и 2) короткие звуки как результат действия, в течение весьма малого промежутка времени (доли секунды), импульса, дающего акустическое поле затухающих колебаний.

Соответственно акустические приборы могут быть разделены на: 1) звукоуловители — для обнаружения, пеленгации и определения координат источников длительных звуков, и 2) звукометрические приборы — для определения координат источников коротких звуков.

Как при визуальном наблюдении регистрация приходящей в оптический прибор световой энергии осуществляется либо субъективным восприятием (зрительным восприятием наблюдателя), либо объективно (фотографированием), так и при акустическом наблюдении регистрация приходящей в акустический прибор звуковой энергии может быть осуществлена слуховыми ощущениями звука слухачом или же электроакустическим прибором.

В соответствии с этим различают акустические приборы: 1) субъективные, основанные на естественной способности человека определять направление на источник звука, и 2) объективные, не зависящие от слуховых ощущений человека.

Естественная способность человека определять направление на источник звука заключается в так называемом биноуральном эффекте. Последний состоит в ощущении „перехода звука из одного уха в другое", при поворачивании головы направо и налево относительно направления на источник звука.

Имеется несколько объяснений биноурального эффекта. Прежде всего условимся считать, что распространение звуковой волны происходит в среде (изотропной) во всех направлениях с одинаковой скоростью. т. е. что фронт акустической волны является сферической поверхностью. С некоторым приближением этому условию, например, отвечает состояние атмосферы при полном отсутствии ветра во всех слоях, равномерной температуре и влажности во всех точках и т. п. Пусть при этом в акустическом поле сферических волн, возбуждаемых источником звука в точке S (рис. 487), расположены уши человека в точках M_1 и M_2.

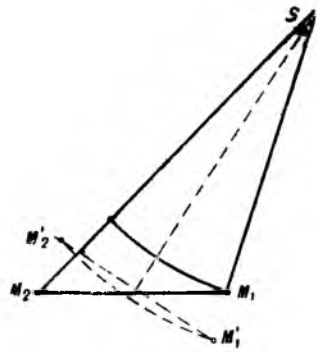


Рис. 487. Определение направления на источник звука

Первое объяснение биноурального эффекта заключается в том, что человек способен различать разность интенсивностей акустического поля. При положении головы, соответствующем расположению ушей в точках M_1 и M_2, интенсивности колебаний в этих точках, находящихся на неодинаковом расстоянии от S, будут различны; в этом случае звук будет казаться приходящим с правой стороны. Для того чтобы ощущение интенсивности в обоих ушах было одинаковым, нужно повернуться так, чтобы оба уха оказались на поверхности одной волны ($M_1' M_2'$). В этом положении оба уха находятся на одинаковом расстоянии от источника звука, и интенсивность колебаний в них будет одинакова; источник звука будет казаться находящимся прямо перед наблюдателем.

Второе объяснение биноурального эффекта находят в восприятии человеком разности времен прихода одной и той же фазы колебаний в точки M_1 и M_2 или разности фаз колебаний в этих точках (так как для периодических колебаний существует равенство $\varphi = \omega\tau$, где φ — разность фаз, ω — круговая частота и τ — разность времен).

Заметим, что минимальная разность времен прихода волны, еще улавливаемая человеком, колеблется от $\frac{1}{3000}$ до $\frac{1}{1000000}$ секунды. Для „среднего" человека можно принять величину $\tau = \frac{1}{20000}$ секунды. Считают, что при определении направления путем слушания невооруженными ушами влияют одновременно все три фактора: разность интенсивностей, разность фаз и разность времен.

Основным недостатком при определении направления невооруженными ушами является небольшая дальность действия.

Увеличение дальности достигается применением звукоулавливателей, принцип устройства которых будет рассмотрен нами в главе V.

13. Принцип работы звукометрических приборов

В звукометрии используют принцип разности времен в чистом виде. Принцип работы звукометрических приборов заключается в фиксировании тем или иным образом моментов прихода звуковой волны к двум точкам M_1 и M_2 (рис. 488), находящимся на некотором расстоянии одна от другой в горизонтальной плоскости. Расстояние $M_1M_2 = l$ называют акустической базой.

Совместим с серединой акустической базы начало прямоугольной системы координат, направив ось OY перпендикулярно базе. Ось OY носит

название директрисы акустической базы. Допустим теперь, что источник звука находится на достаточно большом расстоянии, при котором можно считать, что в пределах акустической базы фронт сферической волны является плоскостью (теоретически этому отвечает бесконечно большое расстояние) и что акустические лучи между собой параллельны.

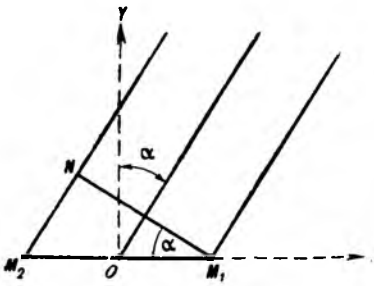


Рис. 488. Акустическая база

Пусть моменты прихода волны в точки M_1 и M_2 зафиксированы временами t_1 и t_2. Тогда к моменту времени t_1 след фронта плоской волны на горизонтальной плоскости будет M_1N и разность расстояний, проходимых волной до M_1 и M_2, будет

$$NM_2 = C(t_2 - t_1) = C\tau,$$

где C — скорость распространения волны (скорость звука).

В этом случае направление на источник определяется в горизонтальной плоскости углом α между директрисой и лучом.

Из треугольника M_1NM_2 найдем:

$$\sin\alpha = \frac{NM_2}{M_1M_2},$$

т. е.

$$\sin\alpha = \frac{C\tau}{l}. \qquad (21)$$

Очевидно, что положительному значению τ отвечает угол вправо от директрисы и отрицательному значению τ — угол влево от директрисы. Для однозначности решения формулы (21) ограничиваются значением $|\alpha| \leqslant \frac{\pi}{2}$. Практически работают при $|\alpha| < \frac{\pi}{4}$.

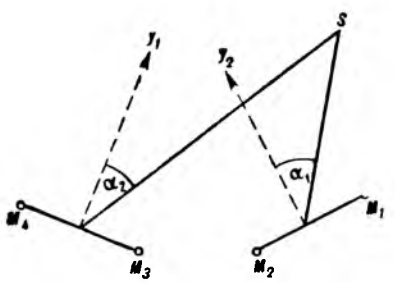


Рис. 489. Определение координат с помощью двух акустических баз

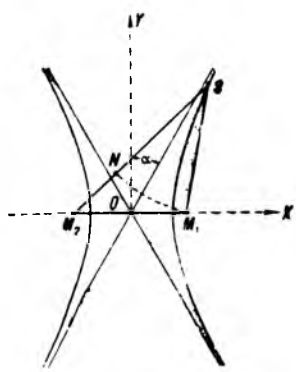


Рис. 490. Определение направления на источник звука методом гиперболы

Для определения положения источника звука S достаточно на местности иметь две акустические базы (рис. 489) и при помощи каждой из них определить разности времен τ_1 и τ_2.

Имея известными координаты точек M_1; M_2; M_3; M_4 и определив углы α_1 и α_2, можно найти положение точки S.

Получение координат точки S осуществляется либо вычислением (аналитическим методом), либо построением (графическим методом), либо смешанным методом.

Когда источник звука недостаточно удален по сравнению с величинами акустических баз, определение координат точки S рассмотренным

выше методом плоской волны может дать большие ошибки. В этом случае применяют так называемый метод пересечения гипербол, вытекающий из того, что геометрическим местом нахождения источника звука, постоянная разность расстояний до которого от точек M_1, M_2 равна $NM_2 = C\tau$, является гипербола с фокусами в этих точках (рис. 490).

Сделанная нами ранее замена сферической волны плоской соответствует допущению, что источник звука находится не на гиперболе, а на ее асимптотах. Естественно, что при достаточно большом удалении это допущение не приводит к значительным ошибкам.

Для определения координат стреляющих батарей противника и координат разрывов своих снарядов (при корректировании огня по звуку) применяют совокупность звукометрических приборов, называемую звукометрической станцией.

Основными приборами звукометрической станции являются: 1) звукоприемники (не менее четырех для разбивки двух акустических баз) и 2) регистрирующий прибор, фиксирующий моменты прихода звуковой волны к каждому из звукоприемников. Кроме этого, станция имеет дополнительное оборудование, обеспечивающее ее работу (аккумуляторные батареи, связь, оборудование для обработки полученных станцией записей и др.).

14. Звукометрическая станция обр. 1930 г.

Звукометрическая станция обр. 1930 г. снабжена манометрическими звукоприемниками с тепловыми микрофонами и осциллографом (с чернильной записью) в качестве регистрирующего прибора.

Звукоприемник (рис. 491) состоит из металлического бака *1*, помещенного в деревянный ящик *2*. В горловине бака находится тепловой микрофон в виде кольца *К* (рис. 492) из изолирующего материала. Вдоль внутреннего диаметра кольца расположена платиновая проволока *П* (диаметром менее 0,01 *мм*), вделанная в мостик *М*. Платиновая проволока нагревается током, подводимым к ней через накладки *Н*.

Действие звукоприемника состоит в том, что приходящая к нему звуковая волна, являющаяся волной уплотнения и разрежения воздуха, создает в горловине из бака и обратно поток воздуха, который охлаждает нагретую проволоку. Вследствие этого сопротивление микрофона уменьшается, и в его цепи появляется импульс увеличения силы тока. Последний регистрируется осциллографом.

Регистрирующий прибор (рис. 493) состоит из следующих основных механизмов: лентопротяжного *1*; пуска и остановки ленты *2*; камертонного (на рисунке не видно—находится сзади) и пишущего *3*. Последний имеет помещенные в магнитном поле катушки по числу звукоприемников и одну катушку для записи на ленте масштаба времени. Кроме того, регистрирующий прибор имеет щиток *4* с контрольными приборами (амперметр, вольтметр и др.), панель *5* для настройки плеч мостиков и другие детали для управления работой прибора.

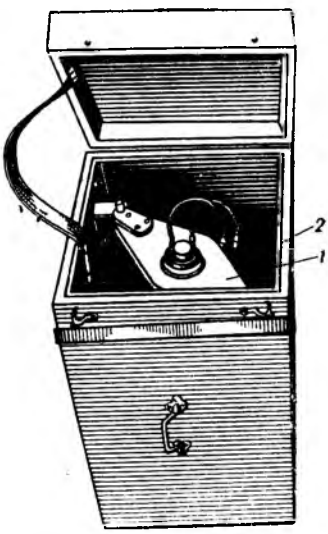


Рис. 491. Манометрический звукоприемник:
1 — бак; *2* — ящик

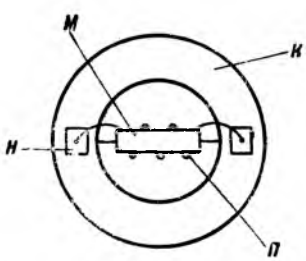


Рис. 492. Тепловой микрофон

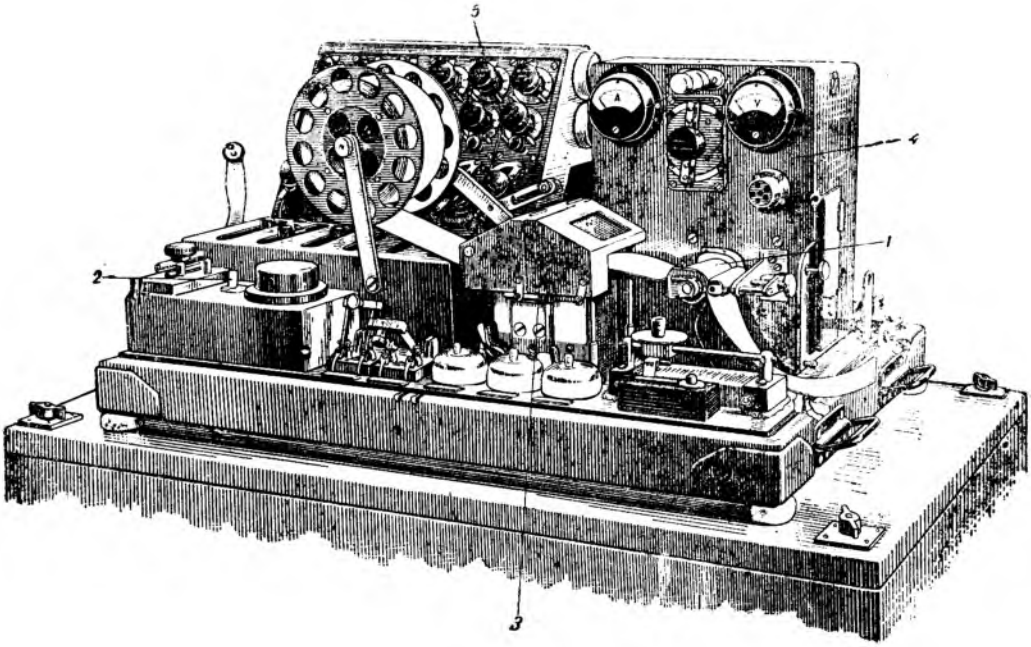


Рис. 493. Звукометрическая станция обр. 1930 г.:

1 — лентопротяжный механизм; *2* — механизм пуска и остановки ленты; *3* — пишущий механизм; *4* — щиток с контрольными приборами; *5* — панель для настройки

Каждый звукоприемник включается в двухплечевой мостик Уитстона (рис. 494), плечи *I* и *II* которого перед работой настраивают с помощью потенциометров $П_1$ и $П_2$ так, чтобы отсутствовал ток в нулевой линии. В этом случае катушка *К* пишущего механизма, включенная в нулевую линию, находится в покое, и связанное с катушкой перо пишет на двигающейся с постоянной скоростью бумажной ленте прямую линию *а* (рис. 495).

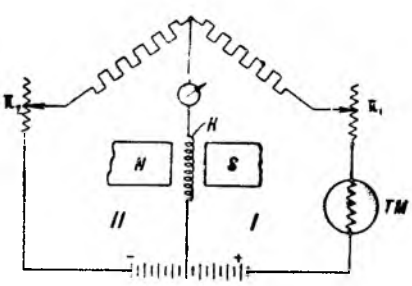


Рис. 494. Принципиальная схема включения теплового микрофона

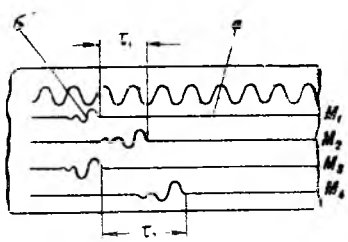


Рис. 495. Записи звуковой волны на ленте

В момент прихода к звукоприемнику волны тепловой микрофон *ТМ* (рис. 494), включенный в плечо *I* мостика, нарушает равновесие его плеч, и в катушке пишущего механизма создается импульс силы тока; на бумажной ленте производится пером осциллографическая запись звуковой волны *б*. Расстояние между двумя началами записей, соответствующих звукоприемникам одной акустической базы, отвечает в масштабе времени на ленте разности τ.

Для записи масштаба времени служит дополнительное перо, катушка которого включена в цепь камертонного механизма. Последний состоит из камертона, постоянная частота колебаний которого поддерживается при помощи специального регулятора. Масштаб времени на ленте зависит

от собственной частоты камертона, скорости передвижения ленты и постоянной цепи подвижной катушки пера.

Снятые с ленты отсчеты τ в дальнейшем дешифрируются и обрабатываются с целью получения координат выстрела (разрыва).

ГЛАВА IV

ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ ОГНЕМ НАЗЕМНОЙ АРТИЛЛЕРИИ

1. Артиллерийская логарифмическая линейка системы Иориша обр. 1936 г.

Артиллерийская логарифмическая линейка обр. 1936 г. служит для ускорения процесса вычисления исходных данных для стрельбы при сокращенной подготовке без карты. Линейка обеспечивает вычисление исходных данных с точностью до $^1/_2$ деления прицела по дальности и до 0-01 по направлению. Благодаря простым действиям, совершаемым на ней, процесс вычисления ускоряется в 3—5 раз по сравнению с вычислениями по таблицам; при этом значительно уменьшается возможность получения ошибок. Кроме того, благодаря наличию на ней логарифмических шкал натурального ряда чисел и основных тригонометрических функций — синусов и тангенсов — с помощью линейки можно производить любые вычисления, связанные с решением разного рода артиллерийских задач, как то:

а) определение корректуры направления во время стрельбы;

б) определение дальности до цели при переносах огня методом коэфициента K;

в) вычисление данных для построения квадратной сетки;

г) вычисление дальности и поправки в дальности при стрельбе по секундомеру и др.

Артиллерийская линейка (рис. 496а) по своей конструкции аналогична устройству обычной логарифмической линейки. Она состоит из корпуса K, движка $Д$ и визирной рамки B.

На лицевой стороне корпуса нанесены:

а) шкала *1* логарифмов обратных величин натурального ряда чисел в масштабе $m_1=90$ *мм*; шкала помечена двойным рядом цифр, отвечающих величинам: дальности, базе, отходу и смещению (значение этих величин будет рассмотрено ниже) в метрах и в делениях прицела;

б) шкала *5* логарифмов натурального ряда чисел; масштаб этой шкалы $m_2=180$ *мм*;

в) шкала *6* логарифмов чисел в масштабе m_1, вследствие чего эта шкала является шкалой квадратов по отношению к числам шкалы *5*.

Движок $Д$ имеет на лицевой стороне шкалы *2* и *3* логарифмов тригонометрических величин — синусов и тангенсов — углов в делениях угломера и шкалу *4*, одинаковую со шкалой *5* на корпусе.

Логарифмические шкалы синусов и тангенсов помечены с правой стороны буквами S и T; начальным штрихом масштабного отрезка для этих шкал является длинная риска, проведенная у деления 0-96 — на шкале S и у деления 0-95,5 — на шкале T, а конечными штрихами — деления 15-00 и 7-50, так как

$$\lg [\sin (0\text{-}96)] = \lg [\operatorname{tg} (0\text{-}95{,}5)] = \lg 0{,}1 = \bar{1}{,}0$$

и

$$\lg [\sin (15\text{-}00)] = \lg [\operatorname{tg} (7\text{-}50)] = \lg 1 = 0.$$

Оборотная сторона движка имеет шкалы *7*, *8* и *9* тригонометрических величин, аналогичные шкалам обычной логарифмической линейки, выполненные в масштабе шкал *4* и *5*.

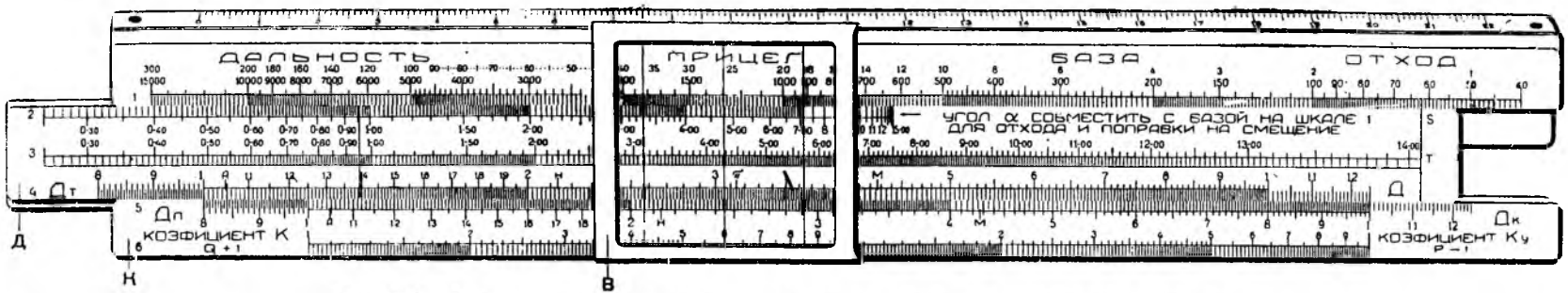


Рис. 496а. Артиллерийская логарифмическая линейка обр. 1936 г. (лицевая сторона):
К — корпус; *Д* — движок; *В* — визирная рамка

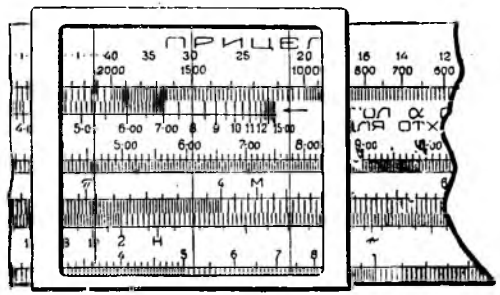


Рис. 496б. Определение смещения

Шкалы *4—9* могут служить для любых вычислений, связанных с решением артиллерийских задач. Шкалы *1—3* служат специально для вычислений при подготовке исходных данных.

Для определения исходных данных на наблюдательном пункте (рис. 497) измеряют: буссоль цели A_m; дальность *Дк*; базу *Б* и угол отметки по батарее α.

По этим величинам решением следующих формул определяют:

а) смещение

$$C = Б \sin \alpha; \qquad (1)$$

б) отход

$$d = Б \cos \alpha; \qquad (2)$$

в) поправку на смещение ω

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{C}{Дк + d}; \qquad (3)$$

г) буссоль цели для батареи

$$(A_m)_б = A_m \pm \omega; \qquad (4)$$

д) дальность батарея — цель

$$Дб = \frac{C}{\sin \omega}; \qquad (5)$$

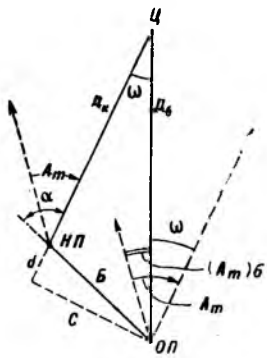


Рис. 497. Трансформирование данных для батареи

е) поправку на смещение ω_1 для дальности, увеличенной на ширину вилки $b\Delta x$, где b — число делений прицела выбранной вилки:

$$\operatorname{tg} \omega_1 = \frac{C}{Дк + d + b\,\Delta x}; \qquad (6)$$

ж) поправку на смещение — для дальности, уменьшенной на ширину вилки:

$$\operatorname{tg} \omega_2 = \frac{C}{Дк + d - b\,\Delta x}; \qquad (7)$$

з) шаг угломера на увеличение прицела

$$Шу_1 = \omega - \omega_1 \qquad (8)$$

и) шаг угломера на уменьшение прицела

$$Шу_2 = \omega_2 - \omega; \qquad (9)$$

к) коэфициент удаления

$$Ку = \frac{Дк}{Дб}. \qquad (10)$$

Так как линейные величины — дальность, база, отход и смещение — нанесены на шкале *1* в виде логарифмов обратных величин, решение формул (1)—(3) и (5)—(7) производят с помощью линейки в преобразованном виде, а именно:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{Б} : \sin \alpha; \qquad (1')$$

$$\frac{1}{C} \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{d}; \qquad (2')$$

$$\frac{1}{C} \operatorname{tg} \omega = \frac{1}{Дк + d}; \qquad (3')$$

$$\frac{1}{C} \sin \omega = \frac{1}{Дб}; \qquad (5')$$

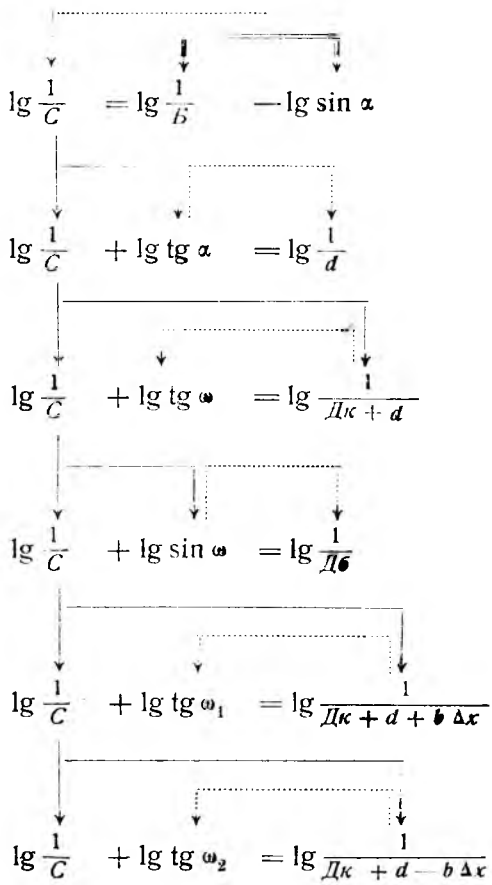
$$\frac{1}{C} \operatorname{tg} \omega_1 = \frac{1}{Дк + d + b\,\Delta x}; \qquad (6')$$

$$\frac{1}{C} \operatorname{tg} \omega_2 = \frac{1}{Дк + d - b\,\Delta x}. \qquad (7')$$

Выражения (1′)—(7′) имеют то преимущество по сравнению с выражениями (1)—(7), что их решение на линейке производится одной установкой движка, т. е. совмещением деления α шкалы *2* с делением $Б$ на шкале *1*, в результате чего против конечного штриха 15-00 может быть прочитано на шкале *1* смещение C.

Дальнейшее решение формул (1′)—(7′) осуществляют только перемещением визирной рамки путем совмещения ее средней линии с соответствующими делениями шкал *1*, *2* и *3*, так как исходной величиной для их решения является величина $\frac{1}{C}$, входящая все время в качестве множителя.

Решение указанных формул при помощи линейки можно представить в виде следующей схемы:



На этой схеме стрелки, показанные двойной линией, означают совмещение делений, отвечающих значениям $\frac{1}{Б}$ и $\sin\alpha$, установкой движка, сплошной линией — совмещение установкой визирной рамки, а пунктиром — считывание результата на соответствующей шкале.

Из этой схемы видно, что применение шкалы *1* обратных величин дает большое преимущество в отношении простоты действий и сокращения времени на решение этих формул.

Пример. Дальность $Дк = 4\,000$ *м*; $Б = 1\,500$ *м*, и угол отметки по батарее $\alpha = 8\text{-}00$.

Установкой движка (рис. 496б) совместим деление 8-00 шкалы *2* с делением 1500 шкалы *1*; против конечного штриха 15-00 может быть прочитана величина $C = 1\,115$ *м*.

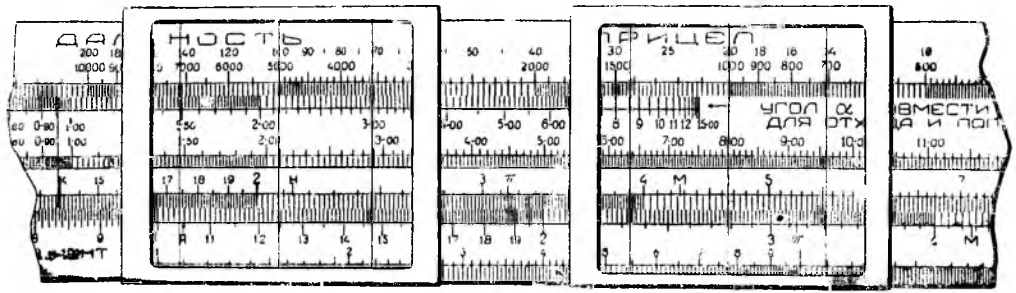


Рис. 498. Определение отхода и поправки на смещение

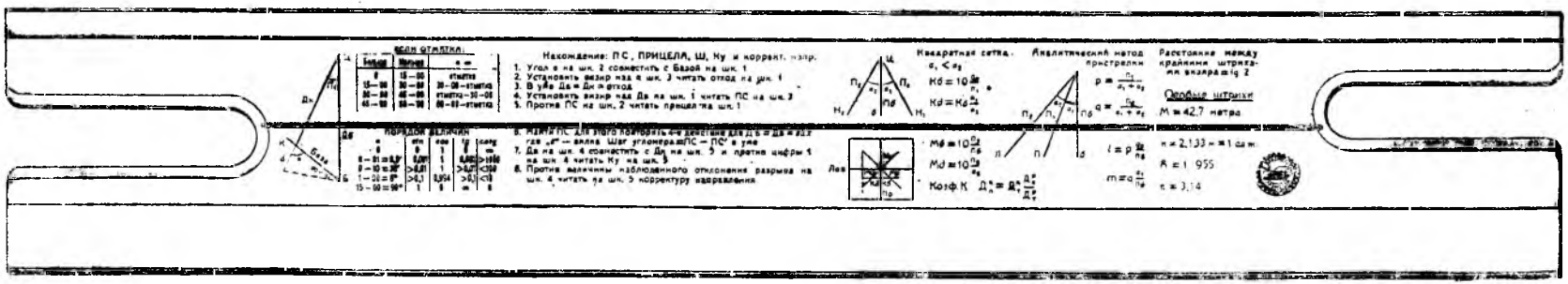


Рис. 499. Артиллерийская логарифмическая линейка обр. 1936 г. (оборотная сторона)

Для получения отхода установкой визира (рис. 498) совместим его среднюю линию с делением 8-00 шкалы *2* и на шкале *1* прочтем отход $d = 1\,000$ *м*.

Точно так же после совмещения средней линии визира с делением $Дк + d = 5\,000$ *м* на шкале *3* прочтем поправку на смещение $\omega = 2\text{-}10$ (рис. 498).

Аналогично определяют (см. схему) величины *Дб*, ω_1 и ω_2.

Буссоль цели для батареи и шаг угломера определяют суммированием (в уме) согласно формулам (4), (8) и (9).

Определение коэфициента удаления согласно выражению (10), а также решение других артиллерийских задач: определение дальности при переносе огня методом коэфициента *K*, расчет данных для построения квадратной сетки, расчет данных для аналитического метода пристрелки, и др. — производится с помощью шкал *4* и *5*, как на обычной логарифмической линейке.

Схемы и формулы решения перечисленных выше задач приведены на оборотной стороне линейки (рис. 499).

2. Поправочник системы Готлиба

Поправочник Готлиба служит для определения суммарных поправок к топографическим данным: прицелу, угломеру и уровню при полной подготовке стрельбы.

Устройство поправочника основано на графическом представлении каждой отдельной поправки по данным таблиц стрельбы. Вследствие этого процесс их определения и получения суммарных поправок сведен к простым действиям, совершаемым на приборе.

Точность определения поправок с помощью прибора характеризуется максимальными ошибками, не превосходящими $^1/_2$ деления прицела для суммарной поправки прицела и 0-01 для поправок угломера и уровня.

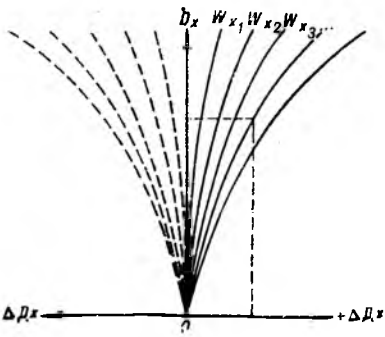


Рис. 500. Построение графика поправок прицела на ветер

Поправочником Готлиба определяют поправки на следующие условия стрельбы:

а) изменение плотности воздуха;

б) изменение температуры заряда и изменение начальной скорости;

в) балистический ветер;

г) деривацию;

д) угол места цели.

Каждая отдельная поправка воспроизведена и на приборе в виде графика кривых поправок, в зависимости от величины параметра, характеризующего то или иное условие стрельбы (плотность, температура заряда и др.), и топографической дальности.

Так например, на рис. 500 представлен график поправок прицела на продольную составляющую скорости ветра; по оси абсцисс отложены поправки прицела $\Delta Дx$, а по оси ординат — топографическая дальность *Дx* в делениях прицела. Каждая кривая графика отвечает определенному значению продольной слагающей скорости ветра.

Такие же графики имеются для других поправок на все перечисленные выше условия.

Суммирование поправок прицела производится автоматически в процессе последовательного их определения.

Поправочник системы Готлиба (рис. 501) состоит из корпуса и комплекта вкладных пластин (графических таблиц поправок). Корпус представляет собой алюминиевую пластину *1*. На краях пластины укреплены бортики *2*, служащие направляющими для вкладной таблицы *3*. Бортики в средней части стянуты поперечиной *4*, на которой укреплена напра-

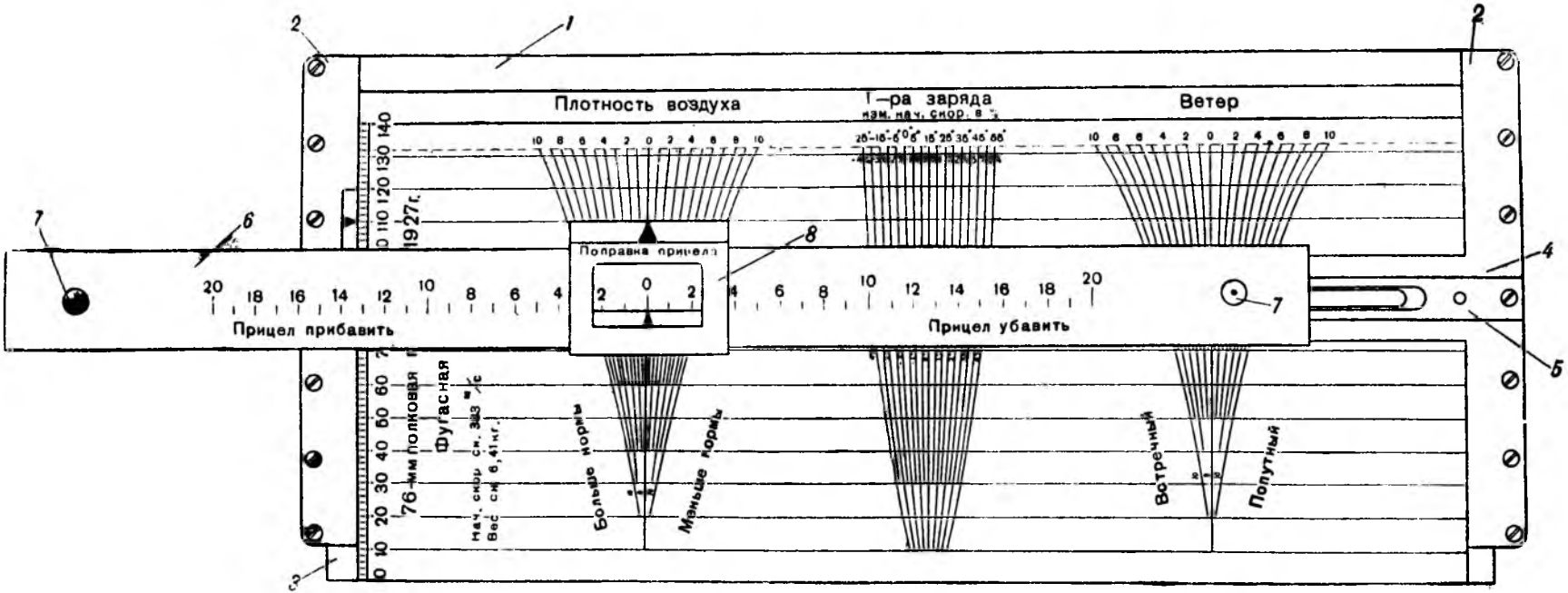


Рис. 501. Поправочник Готлиба (лицевая сторона):

1 — основание; *2* — бортики; *3* — вкладная таблица; *4* — поперечина; *5* — направляющая планка; *6* — прицельная линейка; *7* — шпенек; *8* — визирная рамка

вляющая планка *5*. На последнюю надета прицельная линейка *6* с двумя ползунками *7*, предназначенными для перемещения линейки вдоль направляющей. На прицельной линейке нанесена шкала поправок прицела с ценой деления $1\Delta x$.

По прицельной линейке перемещается визирная рамка *8*.

Комплект графических таблиц поправок рассчитан на определенную артиллерийскую систему. Число таблиц в комплекте исчерпывает штатный набор снарядов и зарядов для данной системы.

Для распознавания каждая из таблиц имеет с левой стороны надписи, указывающие систему, снаряд, заряд, начальную скорость и вес снаряда.

Таблицы поправок разделяются на таблицы для учета поправок угломера и уровня и вкладные таблицы для учета поправок прицела.

Таблица поправок угломера и уровня (рис. 502) имеет два графика.

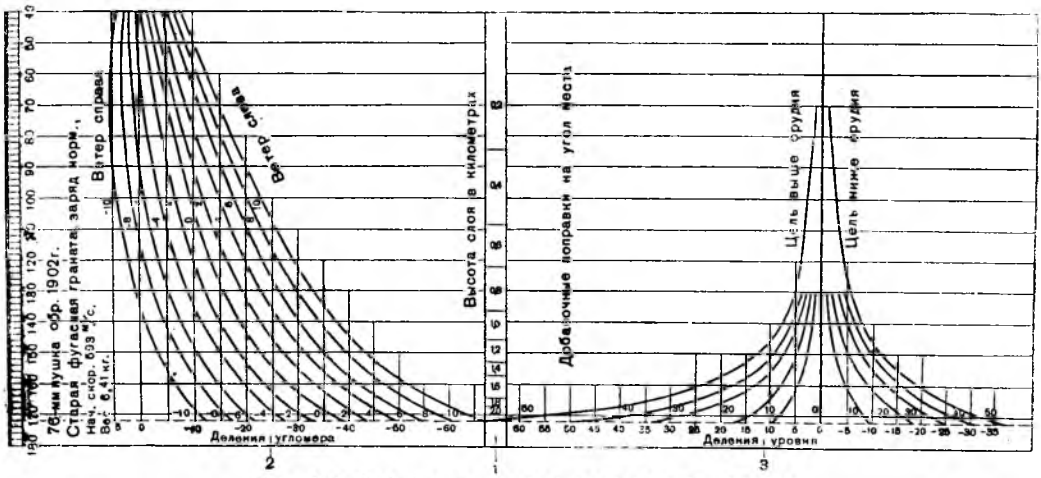


Рис. 502. Таблица поправок угломера и уровня:

1 — шкала высоты траекторий; *2* — график поправок угломера; *3* — график поправок уровня

Левый график *2* служит для определения суммарной поправки угломера на боковую составляющую балистического ветра и деривацию. Средняя кривая этого графика (красная), обозначенная цифрой „0", является кривой поправок на деривацию при боковой составляющей ветра, равной нулю. Остальные кривые отвечают алгебраическим суммам поправок угломера на ветер и деривацию.

Для систем, прицельные приспособления которых учитывают деривацию (76-*мм* пушка обр. 1927 г.), график поправок угломера дает поправку только на ветер. При этом кривые располагаются симметрично относительно средней (нулевой) вертикальной прямой, так как поправки на ветер справа и ветер слева различаются между собой только знаком.

На горизонтальной оси графика нанесена шкала поправок угломера с ценой деления 0-05, а по вертикальной оси у левого среза таблицы — шкала топографической дальности в делениях прицела.

Правый график кривых *3* выражает зависимость поправок уровня от топографической дальности для различных углов места цели от 0 до ± 0-50 через 10 делений угломера. Цена деления шкалы поправок уровня, расположенной по горизонтальной оси графика, равна 0-05. Этот график учитывает существующую зависимость углов прицеливания от углов места цели, выражающуюся известной формулой

$$\sin(2\alpha + \varepsilon) = \sin 2\alpha_0 \cos\varepsilon + \sin\varepsilon, \qquad (11)$$

где α_0 — табличный угол прицеливания, отвечающий топографической дальности, при угле места цели $\varepsilon = 0$;

α — угол прицеливания для той же топографической дальности, но при угле места цели, отличном от нуля.

Построение графика *3* производят следующим образом. Для данной топографической дальности *Дх* определяют по таблице стрельбы табличный угол прицеливания α_0. Подставляя последний в формулу (11), можно вычислить для заданного угла места цели ε угол α. Разность

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_0 \tag{12}$$

является искомой поправкой угла прицеливания или, что то же самое, поправкой уровня на угол места цели в виде функции

$$\Delta\alpha = f(Дх, \varepsilon). \tag{13}$$

В середине таблицы расположена вертикальная шкала высоты слоя в километрах (высоты траектории) в зависимости от топографической дальности стрельбы. Шкала служит для выбора балистического ветра и отклонения балистической температуры, соответствующих данным бюллетеня артиллерийского метеорологического поста (АМП).

Порядок использования таблицы поправок угломера и уровня покажем на следующем примере.

Пример 1. Стрельба ведется из 76-*мм* пушки обр. 1902 г., старой фугасной гранатой, заряд нормальный, при следующих топографических данных: дальность $Дх = 150$ делениям прицела, буссоль цели $A_m = 27\text{-}00$ и угол места цели $\varepsilon = +\,0\text{-}20$.

На соответствующей таблице (рис. 502) находим высоту траектории — 1,2 *км*.

Пусть в бюллетене АМП этому слою отвечает скорость ветра 8 *м/сек* и буссоль ветра 17-00. Тогда по углу ветра (разности между буссолью цели и буссолью ветра), равному 10-00, на круге ветров, нанесенном на оборотной стороне поправочника (рис. 503), находим:

а) продольную составляющую ветра: 4 *м/сек* — ветер встречный,

б) боковую составляющую: 7 *м/сек* — ветер слева.

На таблице поправок (рис. 502) для прицела 150 на левом графике находим поправку угломера —0-38, а на правом графике для угла места цели +0-20 — поправку уровня + 0-05.

Вкладные таблицы поправок прицела (рис. 501) имеют три графика: левый график — для учета изменения плотности воздуха в процентах, средний — для учета температуры заряда и изменения начальной скорости в процентах (изменение температуры заряда на 10° эквивалентно изменению начальной скорости на 1%) и правый график — для учета поправок прицела на продольный ветер.

Таблицы для гаубиц имеют четвертый график для учета поправок на отклонение веса снаряда.

Масштаб поправок на этих графиках принят — одно деление прицела равно 4 *мм*.

Определение суммарной поправки прицела проиллюстрируем на следующем примере.

Пример 2. Стрельба ведется из 76-*мм* пушки обр. 1927 г. при следующих условиях:

а) топографический прицел — 110 делений;

б) барометрическое давление воздуха — 746 *мм* рт. ст.;

в) температура воздуха (балистическая) + 30°;

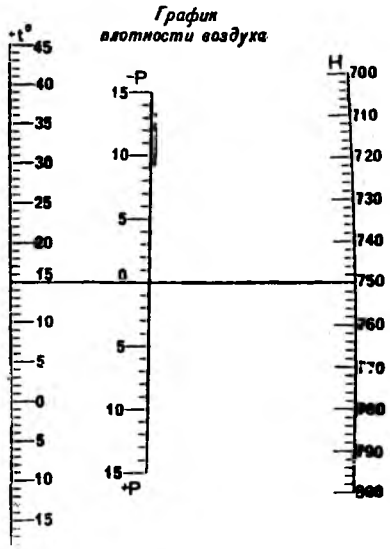
г) температура заряда + 40°;

д) изменение начальной скорости $\Delta v_0 = 0$;

е) продольная составляющая ветра 5 *м/сек* — ветер попутный.

По номограмме плотности воздуха, имеющейся на оборотной стороне поправочника (рис. 503), определяют изменение плотности воздуха. Для этого на боковые шкалы накладывают линейку так, чтобы срез ее проходил через деления, отвечающие заданной температуре + 30° и заданному давлению 746 *мм*. В примере изменение плотности воздуха получается —6%.

В поправочник вкладывают соответствующую таблицу (рис. 501), положение которой должно отвечать заданному прицелу 110, что достигается подведением деления 110 шкалы на таблице к указателю на бортике.



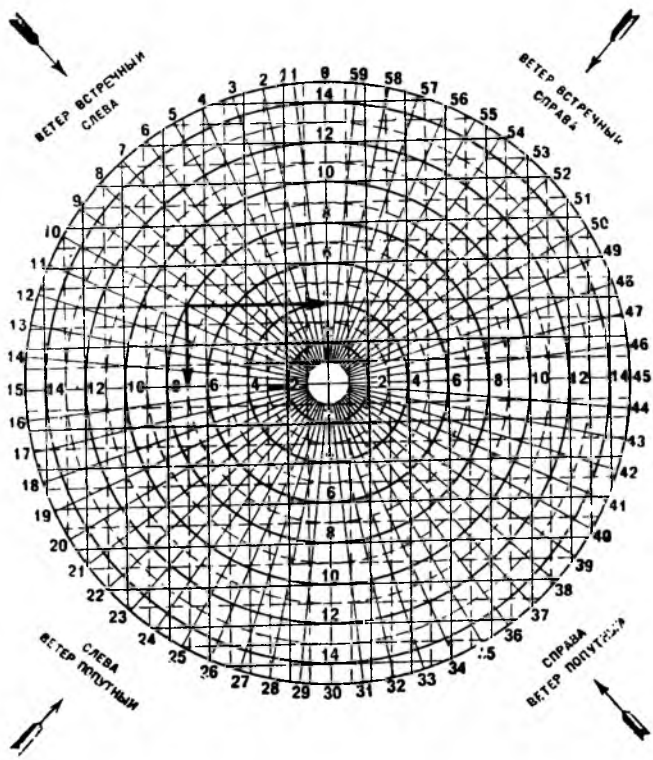


Рис. 503. Поправочник Готлиба (оборотная сторона)

Визирную рамку устанавливают нижним индексом на нуле шкалы поправок прицела. Перемещением прицельной линейки вместе с визирной рамкой верхний индекс последней подводится к средней (красной) линии графика с надписью „плотность воздуха".

Определяют поправку прицела (— 2 деления) на изменение плотности воздуха (рис. 504) перемещением визирной рамки до совмещения верхнего индекса с кривой, отвечающей изменению плотности (— 6%).

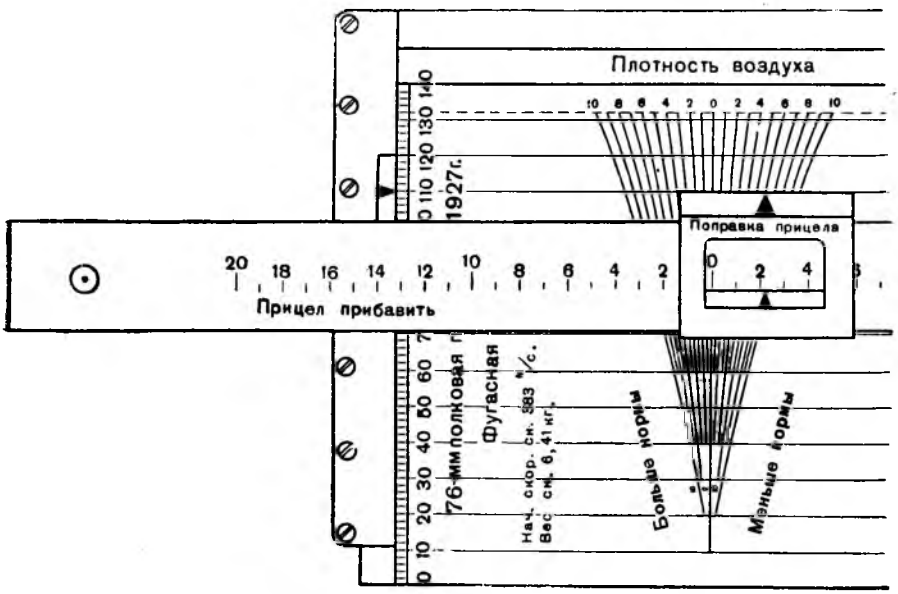


Рис. 504. Определение поправки на изменение плотности воздуха

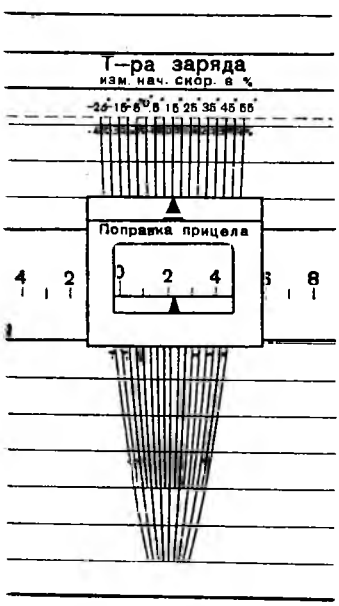


Рис. 505. Определение поправки на температуру заряда

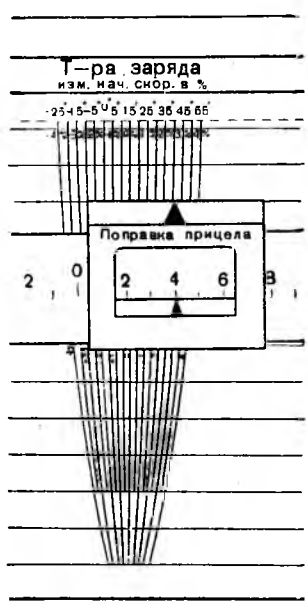


Рис. 506. Определение поправки на температуру заряда

Определение поправки на температуру заряда и автоматическое суммирование ее с ранее определенной поправкой производят перемещением прицельной линейки вместе с рамкой до совмещения верхнего индекса с нулевой кривой (+ 15°) графика с надписью „температура заряда" (рис. 505) и последующим перемещением одной рамки до совмещения с кривой + 40° (рис. 506).

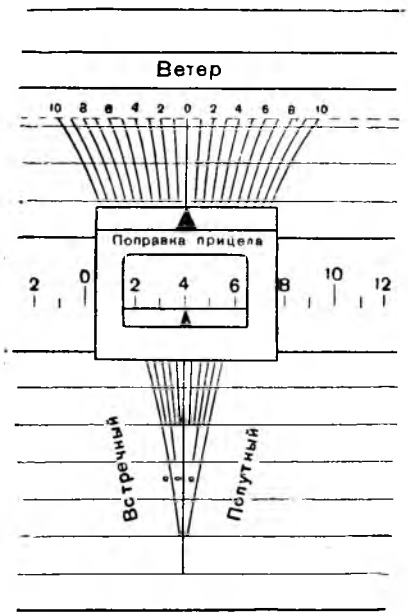


Рис. 507. Определение поправки на ветер

Аналогично эту операцию повторяют на третьем графике (рис. 507 и 508).

Суммарную поправку в делениях прицела (— 6 делений) считывают по шкале прицельной линейки.

3. ПУО-32

Прибор управления огнем системы Григоровича обр. 1932 г. (ПУО-32) предназначается для работы на подготовленной карте (планшете) масштаба 1:25000 или 1:50000.

Прибор служит для определения:

а) данных целеуказания;

б) исходных данных для стрельбы: прицела, угломера, шага угломера и коэфициента удаления;

в) данных для стрельбы с учетом условий стрельбы как по исчисленным поправкам, так и с использованием данных пристрелки (перенос огня);

г) данных для сосредоточения и рассредоточения огня дивизиона (группы).

Кроме того, с помощью прибора могут быть решены дополнительные задачи, связанные с измерением и построением на карте (планшете): определение величины корректуры дальности при пристрелке по измеренным отклонениям, определение данных для расчета и построения квадратной сетки, нанесение цели на карту по данным засечек СНД и по секундомеру, измерение расстояний и углов на планшете и др.

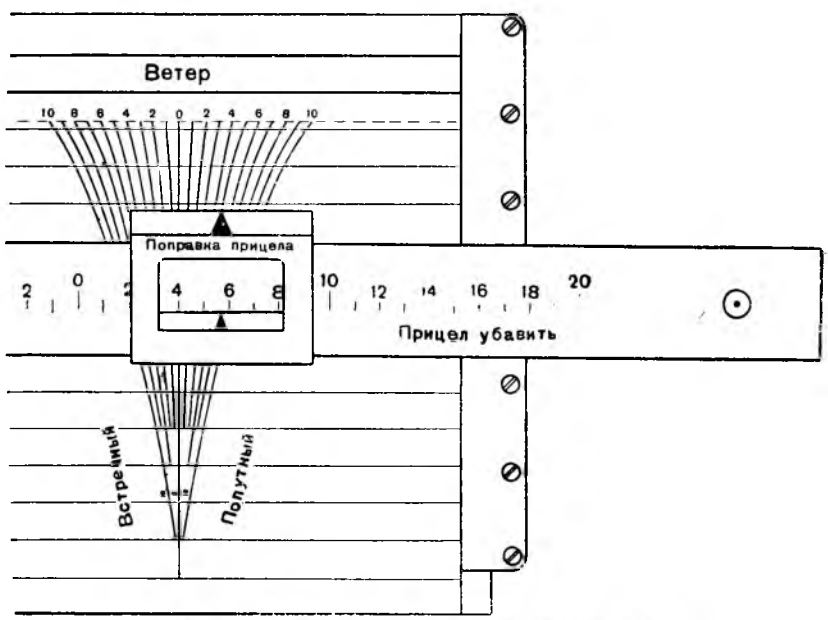


Рис. 508. Определение поправки на ветер

Прибором обеспечивается точность определения данных для стрельбы в пределах до $1\Delta x$ по дальности и 2—3 делений угломера — по направлению.

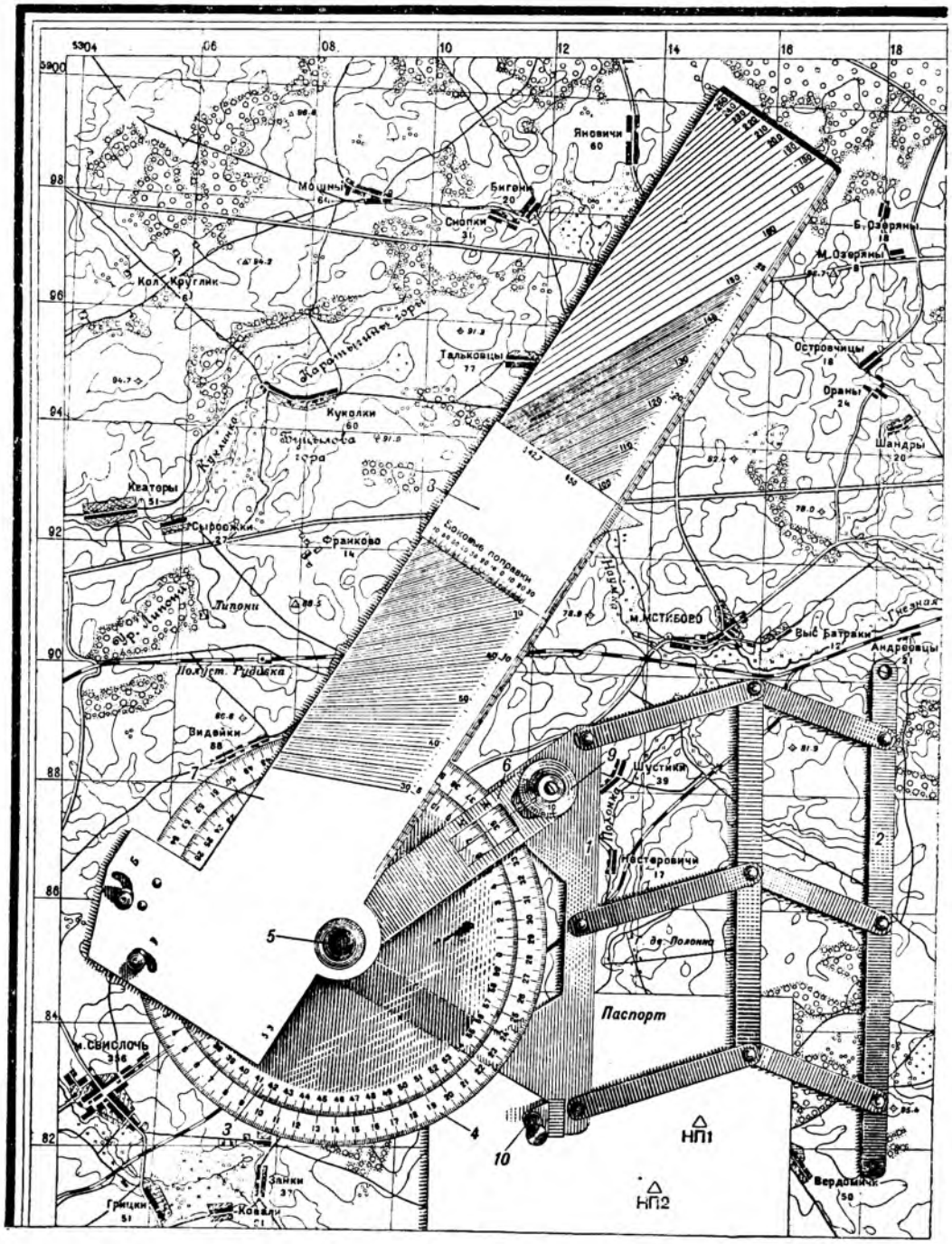


Рис. 509. ПУО-32:

1 — треугольник; *2* — планка; *3* — угломерный круг; *4* — буссольный круг; *5* — центральная втулка; *6* — нониусная линейка; *7* — прицельная линейка; *8* — движок; *9* — шкала; *10* — закол

ПУО-32 (рис. 509) состоит из:

1) пантографа в виде параллелограмного соединения треугольника *1* с планкой *2*, которой прибор прикрепляется двумя шурупами к планшету;

2) двух целлулоидных кругов: угломерного *3* и буссольного *4*, свободно надетых своими отверстиями на центральную втулку *5* треугольника; для отсчета углов поверх кругов свободно надета нониусная линейка *6* с указателем (риской);

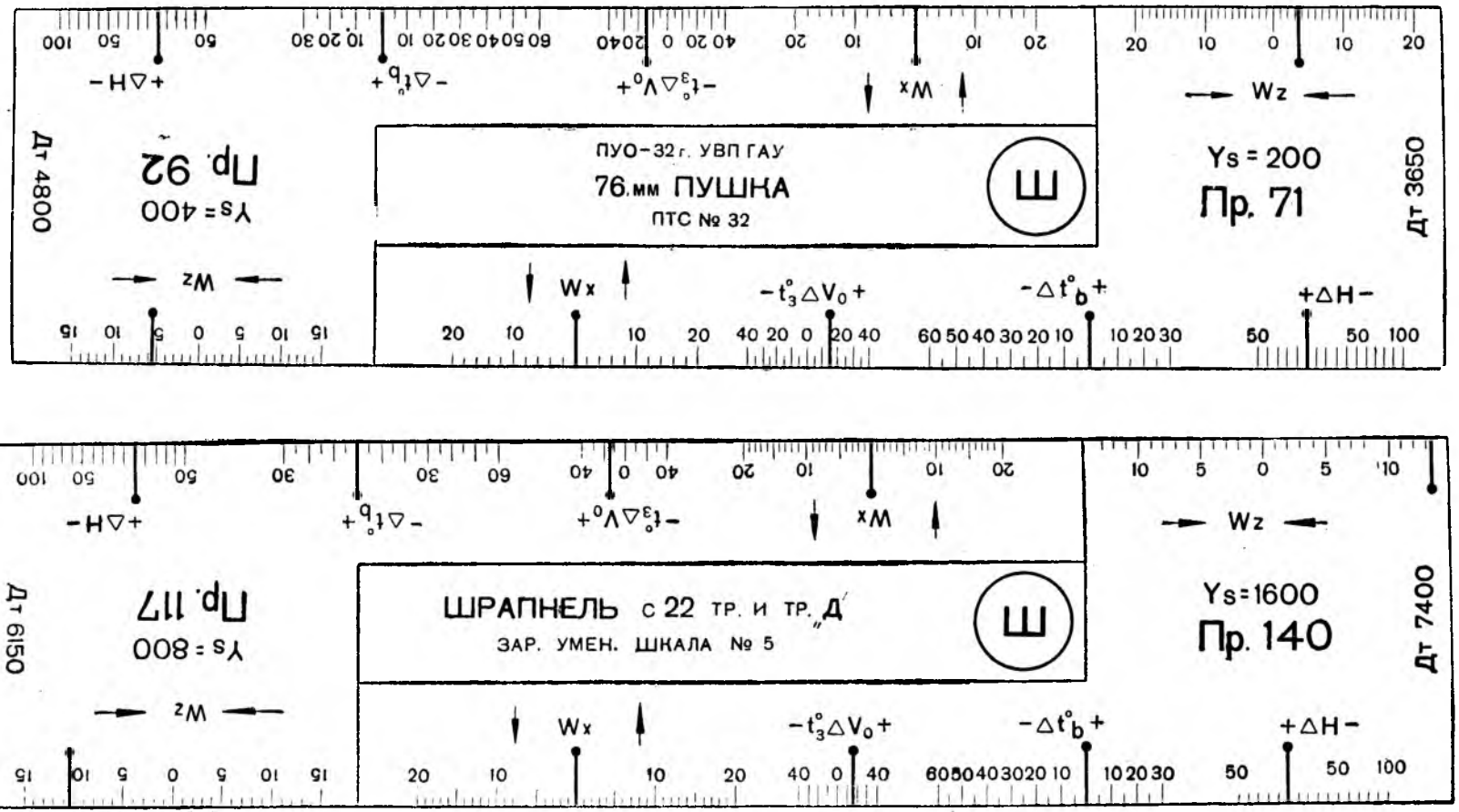


Рис. 510. Графическая таблица стрельбы

3) прицельной линейки *7* с движком *8*, надеваемой на центральную втулку поверх ониусной линейки;

4) комплекта графических таблиц стрельбы, представляющих собой прямоугольные пластинки (рис. 510) из листового молочного цвета целлулоида, по краям которых нанесены шкалы для учета метеорологических и балистических условий стрельбы; число таблиц в комплекте определяется штатным количеством снарядов и зарядов для данного орудия.

Назначением пантографа является осуществление параллельного переноса целлулоидных кругов и совмещение их центра с любой точкой стояния (НП, ОП) на карте в районе своего расположения. Благодаря параллельному переносу ранее приданные диаметрам 30-00 кругов ориентирные направления все время сохраняются при переходе от одной точки к другой.

Для ускорения и однообразия повторных совмещений центра кругов с точками на планшете последние паспортируют укрепленным на треугольнике заколом *10* (рис. 509) на кусок плотной бумаги (паспорт), прикрепленный к планшету. При повторных установках прибора на любую точку иглу закола устанавливают в ранее сделанном наколе, отвечающем данной точке.

Для определения прицела по заданной топографической дальности прицельная линейка (рис. 511) имеет:

а) шкалу дальности *11* в гектометрах;

б) шкалу времени *12* прохождения звуком выстрела (разрыва) данной дальности (при скорости звука 340 *м/сек*);

в) график *13* линий равных прицелов.

График прицелов построен в прямоугольной системе координат; по оси ординат отложены топографические дальности *Дх*, а по оси абсцисс — цена деления прицела Δx.

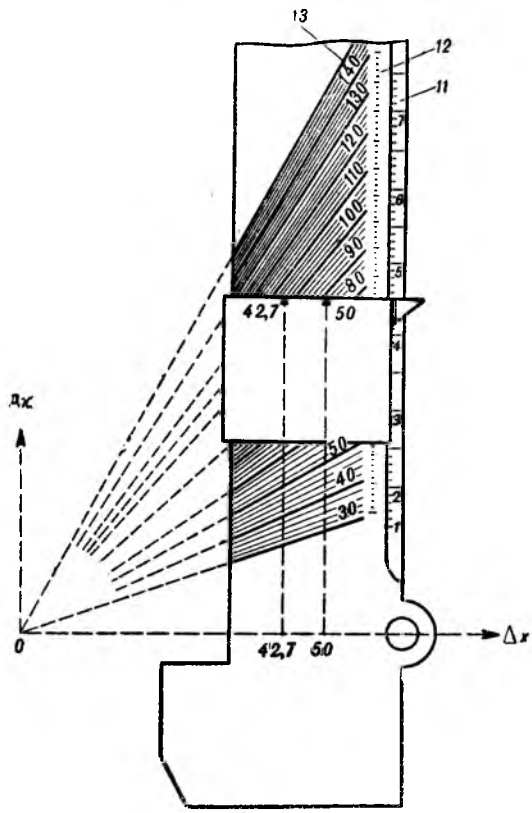


Рис. 511. Построение графика прицельной линейки

Масштаб по оси *Дх* (1:25000) определяет собой масштаб всего прибора, а по оси Δx отрезок, равный 3 *мм*, соответствует цене деления, равной 1 *м*.

Так как прицел *П* связан с дальностью равенством

$$Дх = П\Delta x, \tag{14}$$

то равным значениям *П* отвечают прямые, исходящие из начала координат, называемые линиями равных прицелов или изоприцельными линиями.

Для определения прицела необходимо знать цену деления прицела и топографическую дальность. Последнюю устанавливают движком *8* так, чтобы его верхний срез проходил через деление шкалы, отвечающее заданной дальности. На движке нанесены два индекса, соответствующие двум значениям $\Delta x = 42{,}7$ *м* (для старой нарезки прицелов)

и 50 *м* (для нормализованного прицела). Так например, на рис. 511 положению движка, отвечающему дальности 4500 *м*, соответствует прицел 90 при $\Delta x = 50$ *м* и прицел 105 при $\Delta x = 42{,}7$ *м*.

Прицельная линейка вместе с целлулоидными кругами и ноиусной линейкой составляют углоизмерительную часть прибора.

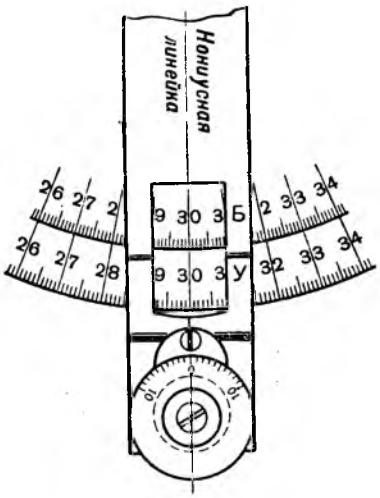


Рис. 512. Измерение угла с точностью 0-01

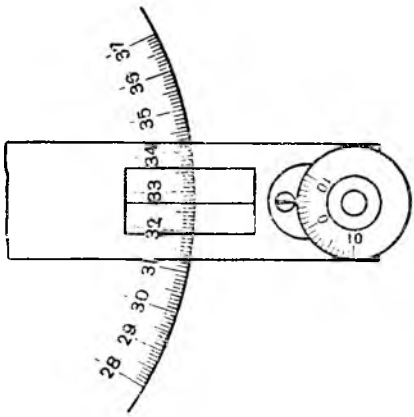


Рис. 513. Измерение угла с точностью 0-01

Для измерения углов с точностью 0-01 служит шкала *9* (рис. 509), укрепленная на эксцентричном барабанчике. Последний входит в вырез конца ноиусной линейки. При вращении барабанчика в пределах 0-10 делений указатель ноиусной линейки поворачивается вокруг центральной втулки на одно деление целлулоидного круга, цена которого равна 0-10.

Измерение углов производят следующим образом. Центр целлулоидных кругов устанавливают над точкой, с которой производится измерение угла, и срез прицельной линейки совмещают с одним из направлений, между которыми измеряется угол. Деление 30-00 угломерного круга подводят под указатель ноиусной линейки (рис. 512) при установке 0 на шкале эксцентричного барабанчика, и в этом положении круг скрепляют зажимом с прицельной линейкой.

После совмещения среза прицельной линейки с другой точкой против указателя читают отсчет. Если риска оказалась между делениями (рис. 513), то вращением барабанчика ее совмещают с делением, отвечающим ближайшему меньшему углу на круге, и на шкале барабанчика читают часть цены деления круга. На рис. 513 измеренный угол будет 2-75.

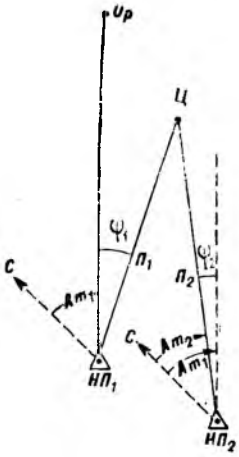


Рис. 514. Схема целеуказания от основной буссоли

Работу на приборе по целеуказанию рассмотрим на примере целеуказания от основной буссоли.

Для указания цели *Ц* (рис. 514), для которой измерены на местности дальность (прицел) $П_1$ и угол ψ_1 от ориентира, дающий целеуказание определяет на местности буссоль направления на ориентир и передает ее принимающему целеуказание в качестве основного направления.

Дающий целеуказание устанавливает прибор над своей точкой ($НП_1$) и срез прицельной линейки совмещает с нанесенным на карту ориентиром; к указателю ноиусной линейки подводит 30-00 угломерного круга и деление буссольного круга, отвечающее основной буссоли A_{m_1}. В этом положении оба круга закрепляют зажимами.

Вращением прицельной линейки устанавливают по угломерному кругу угол ψ и на срезе линейки соответственно прицелу $П_1$ наносят цель на карту.

По установке прибора над точкой принимающего целеуказание ($НП_2$) срез прицельной линейки и верхний срез движка совмещают с целью.

Данными для передачи целеуказания являются дальность (прицел) $П_2$ и угол ψ_2, считываемые на прицельной линейке и угломерном круге. Вместо угла ψ_2 может быть передана буссоль цели A_{m_2} (для $НП_2$), считываемая по буссольному кругу.

Принимающий целеуказание, имея у себя на карте прочерченное по основной буссоли ориентирное направление, наносит цель на карту по переданным углу ψ_2 и дальности $П_2$.

Не останавливаясь на работе с прибором по определению исходных данных, поскольку определение их связано с рассмотренным выше измерением на карте углов и расстояний, перейдем к рассмотрению учета условий стрельбы.

Учет условий стрельбы по данным пристрелки реперов или исчисленным поправкам при определении прицела сводится к учету изменения цены деления прицела. Рассмотрим это на примере.

Пример 1. Требуется определить прицел для стрельбы по цели $Ц$ (рис. 515), используя данные пристрелки репера $Р$; топографическая дальность до репера $Дх = 4000$ *м*, а до цели $Дх' = 5200$ *м*.

При табличных условиях стрельбы дальности $Дх$ соответствует табличный прицел

$$(П_т)_р = \frac{4000}{50} = 80.$$

Пусть в результате пристрелки получен прицел $П_р = 86$.

Так как топографическая дальность для данного репера постоянна, то получение прицела $П_р \neq (П_т)_р$ соответствует изменению Δx от своего табличного значения ($\Delta x = 50$ *м*), т. е.

$$П_р = \frac{Дх}{\Delta x},$$

откуда

$$\Delta x = \frac{Дх}{П_р} = \frac{4000}{86} = 46{,}5 \text{ м}.$$

Отношением $\frac{П_р}{(П_т)_р} = \frac{50}{\Delta x} = K$, называемым коэфициентом K, и пользуются обычно при переносе огня от репера на цель. Коэфициент K учитывает, таким образом, изменение цены деления прицела при данных условиях стрельбы.

Для нашего примера:

$$K = \frac{50}{46{,}5} = 1{,}075;$$

табличный прицел по цели

$$(П_т)_ц = \frac{Дх'}{50} = 104$$

и пристрелянный прицел

$$П_ц = \frac{Дх'}{50} K = 112.$$

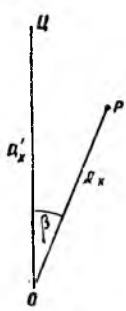


Рис. 515. Перенос огня методом коэфициента K

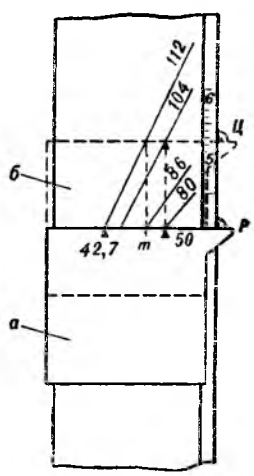


Рис. 516. Определение прицела при переносе огня

Для переноса огня методом коэфициента K с помощью прибора движок устанавливают по дальности до репера $Дх = 4000$ *м* (рис. 516, *а*). На верхне срезе движка карандашом делают отметку (риска m) полученного в результате пристрелки Δx.

Пристрелянный прицел читают против сделанной отметки при установленном движке по дальности до цели (рис. 516, *б*).

Перенос огня методом коэфициента K дает удовлетворительные результаты, если угол переноса не более 3-00 и дальности до цели и репера отличаются не более чем на 30%.

Перенос огня по целям, находящимся в большом диапазоне дальностей, производят на основе пристрелки нескольких реперов, расположенных в середине сектора стрельбы на различных дальностях.

По результатам пристрелки каждого репера определяют изменение цены деления прицела (коэфициент K) и поправку угломера. По этим данным на прицельной линейке строят линию пристрелянных дальностей (ЛПД) и линию поправок угломера (ЛПУ).

Пример 2. В результате пристрелки трех реперов были получены данные, которые сведены в следующую таблицу:

Таблица 71

№ репера	Топографические данные		Пристрелянные данные		Поправки	
	угломер	прицел	угломер	прицел	угломера	прицела
1	25-73	82	25-73	86	0	+4
4	25-38	115	25-34	123	—0-04	+8
5	24-75	150	24-63	161	—0-12	+11

Для построения ЛПД и ЛПУ движок прицельной линейки последовательно устанавливают в соответствии с топографическими прицелами 82, 115 и 150 (рис. 517). На графике прицелов для каждого положения движка в месте пересечения его верхнего среза с линией, отвечающей пристрелянному прицелу 86, 123 и 161, отмечают карандашом точки $Д_1$; $Д_2$ и $Д_3$, а по нижнему срезу против соответствующего деления шкалы боковых поправок: 0, (—0-04), (—0-12)—ставят точки $Б_1$, $Б_2$ и $Б_3$.

Ломаная линия $Д_1Д_2Д_3$ и является линией пристрелянных дальностей, а линия $Б_1Б_2Б_3$ — линией пристрелянных поправок угломера.

Следует отметить, что построенная на графике ЛПД является по существу линией пристрелянных значений Δx.

Построение ЛПД и ЛПУ для переноса огня по любой цели используют тем, что при совмещении срезов движка и прицельной линейки с целью на карте (рис. 518) прицел читают в месте пересечения ЛПД с верхним срезом движка, а поправку угломера — в месте пересечения ЛПУ с нижним срезом движка. Так, на рис. 518 при построенных в предыдущем примере линиях цели $Ц$ отвечают прицел 143 и поправка угломера — 0-09.

Учет условий стрельбы на основе исчисленных поправок производят также с помощью построения линий на графике. В этом случае линии называют линиями исчисленных прицелов и исчисленных поправок угломера. Построение этих линий осуществляют с помощью графических таблиц стрельбы (рис. 510).

Таблицы имеют шкалы для учета параметров, характеризующих следующие условия стрельбы:

а) продольный ветер w_x в *м/сек*;

б) температура заряда $t^\circ_з$ и изменение начальной скорости орудия $\Delta v_0\%$;

в) изменение температуры воздуха $\Delta t^\circ_в$;

г) изменение барометрического давления воздуха ΔH *мм* ртутного столба;

д) боковой ветер w_z в *м/сек*.

Каждая таблица рассчитана для четырех топографических прицелов, выбранных в диапазоне дальностей стрельбы данной системы так, что дальности, отвечающие двум соседним прицелам, отличаются между собой примерно на 30%.

В соответствии с тем, что учет условий стрельбы (по дальности) сводится к учету изменения Δx, на шкалах графических таблиц (кроме w_z) нанесены величины изменения Δx в зависимости от значения параметра (ветер, температура заряда и т. д.) и данной дальности.

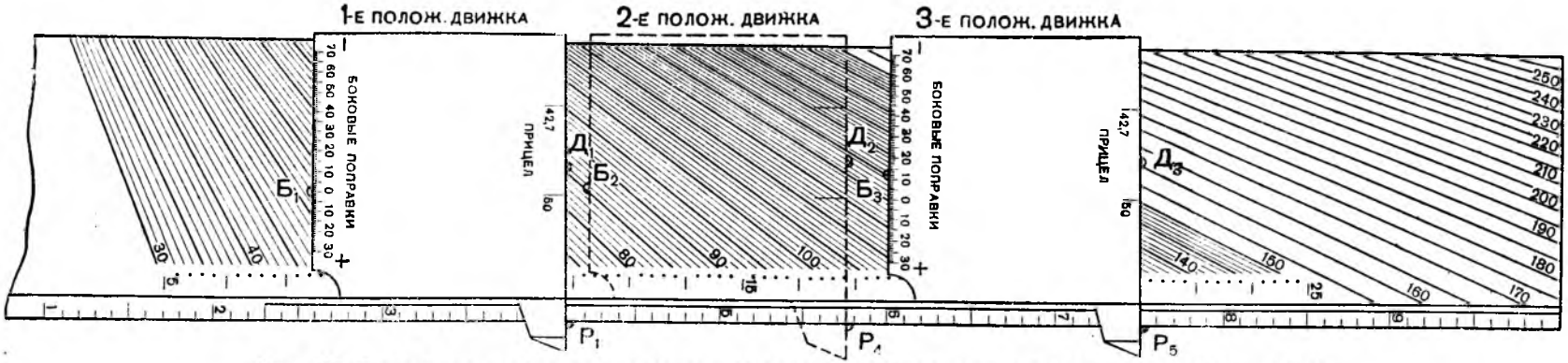


Рис. 517. Построение линии пристрелянных дальностей — ЛПД и линии поправок угломеров — ЛПУ

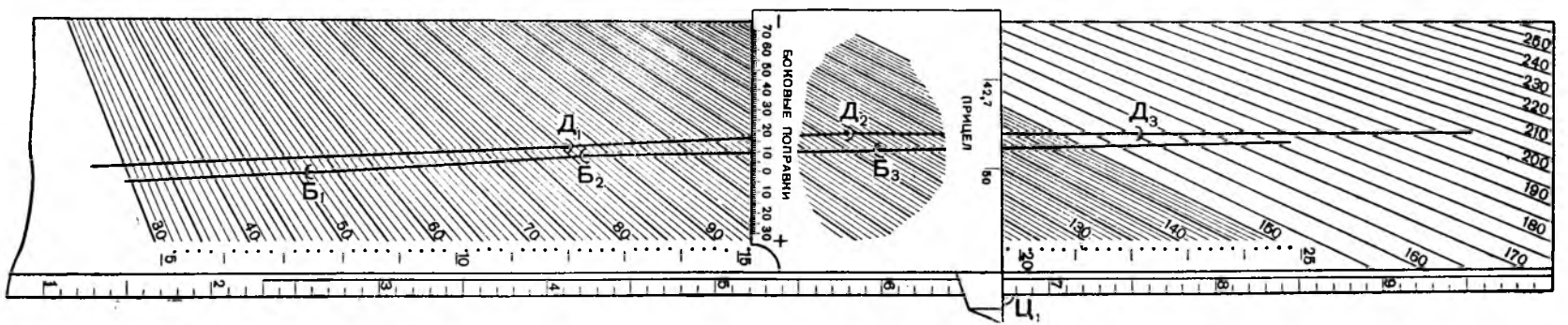


Рис. 518. Определение данных для стрельбы с помощью ЛПД и ЛПУ

Масштаб величины Δx на таблице равен масштабу Δx на графике прицельной линейки.

Установочная риска (жирная с точкой наверху) каждой шкалы соответствует табличной цене деления (Δx равно 50 или 42,7) или, что то же самое, табличному значению параметра ($w_x = 0$; $t_в = 15°$ и т. д.).

Шкала w_z нанесена непосредственно в делениях угломера, в масштабе шкалы боковых поправок движка прицельной линейки. Деления этой шкалы помечены величинами бокового ветра в *м/сек*. Эта же шкала одновременно учитывает деривацию тем, что установочная риска смещена относительно нуля в сторону положительных поправок на величину деривации для данной топографической дальности.

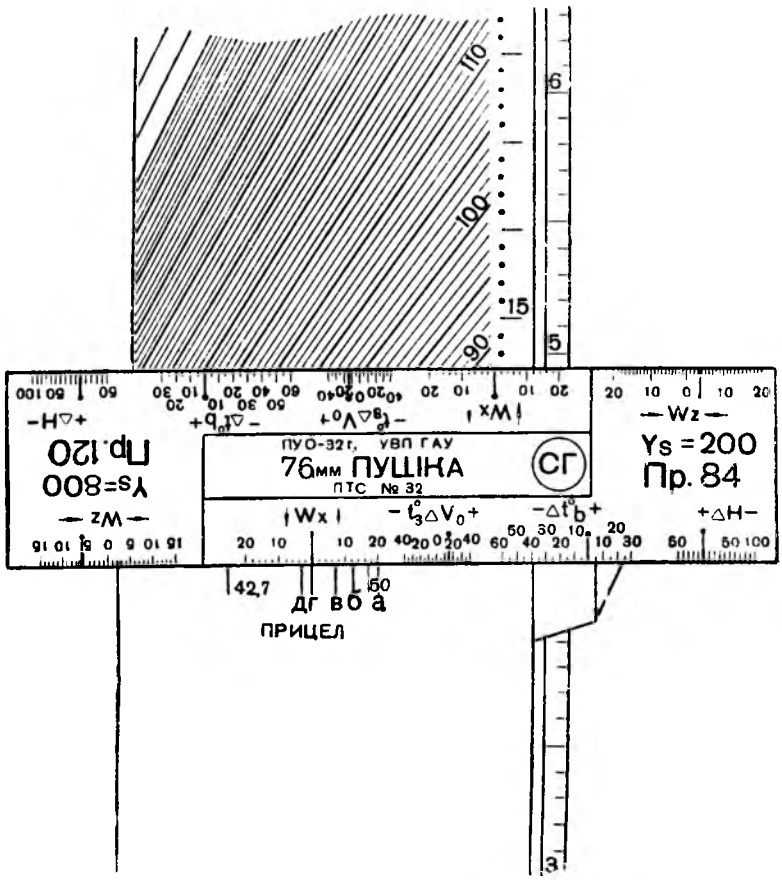


Рис. 519. Принцип построения линии исчисленных прицелов

Для построения линии исчисленных прицелов движок прицельной линейки устанавливают согласно одному из четырех расчетных прицелов графической таблицы. Установочную риску какой-нибудь шкалы (например ΔH), отвечающей взятому прицелу, совмещают с индексом 50 (42,7) движка.

На движке против деления, соответствующего заданному изменению ΔH, делают карандашом отметку *а* (рис. 519). Далее с отметкой *а* совмещают установочную риску другой шкалы и на движке против соответствующего деления ставят новую отметку *б* (при определении поправки прицела на изменение начальной скорости); с последней отметкой совмещают 0 шкалы „$t_з$, Δv_0".

Поступая таким образом для каждой шкалы (кроме w_z), получим окончательную отметку *д*.

Расстояние до нее от индекса 50 (42,7) соответствует суммарному изменению Δx, которое отмечают точкой на графике прицелов.

Повторяя аналогично для других трех расчетных прицелов таблицы, можно получить остальные точки линии исчисленных прицелов.

Линию исчисленных поправок угломера строят с помощью шкалы w_z (рис. 520) графической таблицы; при этом установочную риску совмещают с нулем шкалы боковых поправок на нижнем срезе движка.

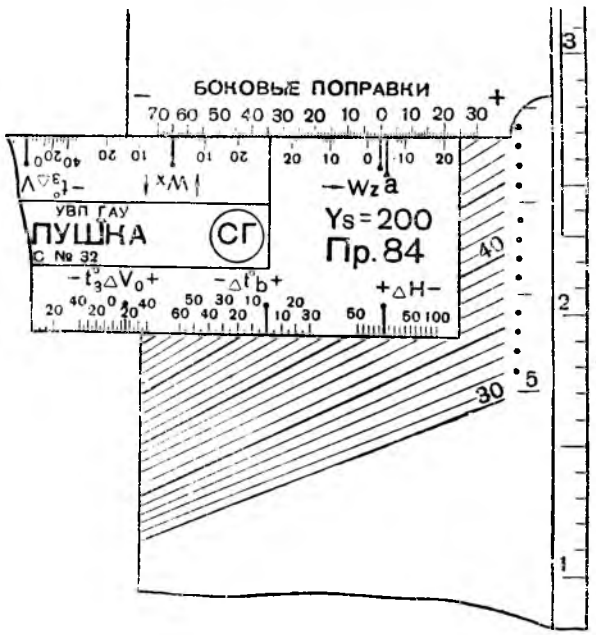


Рис. 520. Принцип построения линии исчисленных поправок угломера

Линии исчисленных прицелов и поправок угломера используют так же, как было указано для ЛПД и ЛПУ.

4. Автокорректор обр. 1932 г.

Автокорректор предназначается для ведения пристрелки с помощью артиллерийского самолета и служит для быстрого определения поправок прицела и угломера для батареи по переданным летчиком-наблюдателем данным о положении центра группирования разрывов относительно цели.

Автокорректор рассчитан на использование при работе летнаба с координатной меркой на картах масштаба 1:25000 и 1:50000.

Точность определения поправок прицела при использовании карты масштаба 1:25000 — $^1/_2$ деления прицела (при отклонениях центра группирования меньших 500 *м*) и поправок угломера — 2—3 деления угломера.

Автокорректор (рис. 521) состоит из целлулоидного планшета *1* и соединенной с ним вращающейся координатной мерки *2* из прозрачного целлулоида. Через центр вращения координатной мерки, совпадающей с центром нанесенного на планшет буссольного круга, проведены две взаимно перпендикулярные линии, обозначенные странами света С — Ю; В — З. На координатной мерке нанесена квадратная сетка; сторона каждого квадрата в масштабе планшета (1:25000) отвечает одному делению прицела.

На нижней части планшета нанесен график *3* боковых (линейных) отклонений разрывов. Последний представляет собой пучок прямых линий, исходящих из начала прямоугольной системы координат; он расположен на направлении диаметра 30-00 буссольного круга [1].

[1] Положение начала координат на этом направлении не имеет значения для построения графика боковых отклонений.

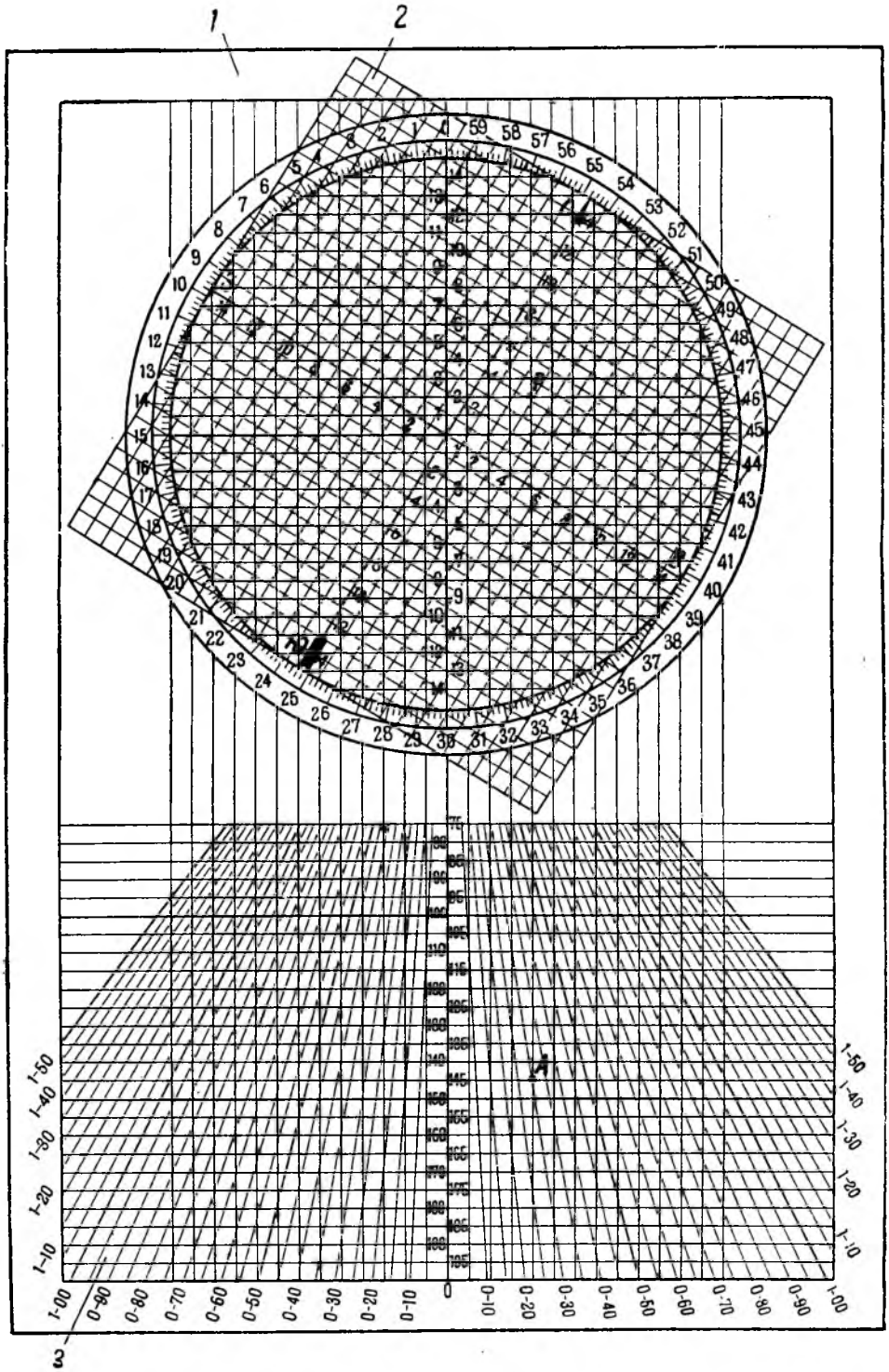


Рис. 521. Автокорректор (лицевая сторона):

1 — основание планшета; *2* — координатная мерка; *3* — график боковых отклонений

По оси ординат вниз отложены топографические дальности в делениях прицела, а по оси абсцисс — линейные боковые отклонения разрывов.

Обозначим масштаб топографической дальности через $K_Д$ и масштаб боковых отклонений через K_z, тогда

$$x = K_Д Дx \tag{15}$$

и

$$y = K_z z, \tag{16}$$

где x и y — соответственно абсцисса и ордината любой точки графика, выраженные в *мм*.

Боковое отклонение z разрыва связано с угловым отклонением α равенством

$$z = Дx \operatorname{tg} \alpha. \tag{17}$$

Подставив в равенство (17) вместо z и $Дx$ их выражения из равенств (16) и (15), получим:

$$\frac{y}{K_z} = \frac{x}{K_Д} \operatorname{tg} \alpha,$$

откуда

$$y = \frac{K_z}{K_Д} \operatorname{tg} \alpha \cdot x. \tag{18}$$

Равенство (18) представляет собой уравнение пучка прямых, исходящих из начала координат, с угловым коэфициентом

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{K_z}{K_Д} \operatorname{tg} \alpha.$$

Каждому угловому отклонению α разрыва отвечает на графике определенная прямая под углом γ (рис. 522) к оси $Дx$. Таким образом, прямые графика, исходящие из начала координат, являются линиями равных угловых отклонений.

Линии на графике проведены через 0-05 и помечены по краям планшета через 0-10 делений угломера.

В основу устройства автокорректора положено, что цель всегда находится в центре буссольного круга, что диаметр 30-00, совпадающий с осью ординат графика боковых отклонений ($z = 0$), является направлением батарея—цель и что диаметр (15-00)—(45-00) является границей перелетов и недолетов.

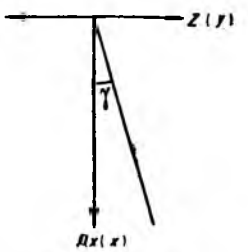


Рис. 522. Принцип построения графика боковых отклонений

Подготовка автокорректора к работе (рис. 521) сводится к установке северной линии координатной мерки против деления буссольного круга, соответствующего буссоли цели (54-80).

По получении с самолета первого контроля стрельбы в виде координат относительно цели, например, север — 4; восток — 3, определяют положение центра группирования разрыва P. Идя от этой точки по горизонтальной линии до шкалы поправок прицела, находят отклонение (+2 деления) центра группирования по дальности. По графику боковых отклонений определяют угловое отклонение + 0-30, для чего ищут точку пересечения A вертикальной линии, проходящей через P, и горизонтальной линии, отвечающей топографическому прицелу (145). Соответственно полученным отклонениям исправляют топографические данные: „лезее 0-30, прицел 143". Таким же образом определяют поправки после получения последующих контролей.

Связь (кодированную) с самолетом осуществляют в зависимости от имеющихся в распоряжении средств: радио, авиасигнальное полотнище Попхем и др. Артиллерийский код сигналов полотнищем Попхем нанесен на оборотной стороне автокорректора.

Определение летнабом положения разрывов относительно цели не представляет особой трудности в том случае, если самолет находится в районе расположения цели. Однако наличие в зоне обстреливаемой цели средств ПВО (зенитной артиллерии, истребительной авиации и др.) часто будет вынуждать артиллерийский самолет, корректирующий стрельбу, вести визуальное наблюдение из своего расположения или даже из глубины своего расположения. В отдельных случаях окажется невозможным и предварительный кратковременный залет в район цели для изучения ориентиров и ознакомления с местностью района цели. В этом случае определение вектора a отклонения разрыва P (рис. 523) относительно цели $Ц$ в значительной степени затрудняется; все линейные величины a, x, z на горизонтальной плоскости Q будут видны в виде их проекций a', x', z' на картинную плоскость K (плоскость, перпендикулярную линии наблюдения).

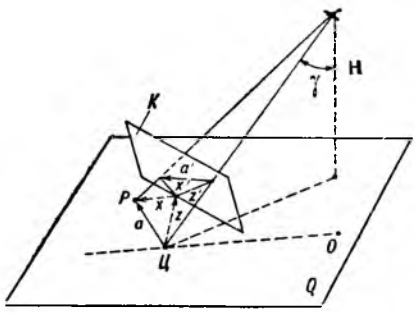


Рис. 523. Искажение перспективы при косвенном наблюдении

Искажение наблюдаемой с самолета перспективы будет тем больше, чем больше угол визирования γ. При достаточной тренированности летнаба по оценке степени искажения наблюдаемой перспективы ошибки в определении координат разрыва могут быть значительно уменьшены. Однако при больших дальностях наблюдения необходимо применение специального прибора — оптического арткорректировщика, назначением которого является:

а) обеспечение лучшего наблюдения за районом обстреливаемой цели;

б) определение, с помощью имеющегося в нем счетно-решающего устройства, истинного вектора отклонения разрыва a по высоте полета H, углу визирования γ и наблюдаемому вектору отклонения a'.

ГЛАВА V

ПРИБОРЫ УПРАВЛЕНИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКИМ ЗЕНИТНЫМ ОГНЕМ

1. Особенности стрельбы по быстродвижущимся целям

По стрельбе по быстродвижущимся целям особую роль приобретает элемент времени. Все действия, связанные с определением координат положения цели, подготовкой исходных данных, наводкой орудий и производством выстрела, должны соответствовать одному и тому же расчетному моменту времени. Движущаяся цель (например самолет) находится в зоне обстрела небольшое время, исчисляемое минутами; поэтому необходимо быстро производить подготовку данных, а также непрерывно решать всю задачу стрельбы.

Рассмотрим случай движения цели в плоскости горизонта орудия O (рис. 524). Пусть цель, двигаясь по направлению mn со скоростью v, занимает в некоторой исходный момент положение A'_0, а в момент выстрела $A_в$ (точка выстрела). Промежуток времени $\tau_р$ между этими моментами, необходимый для производства расчета, передачи данных на орудия, их установки и производства выстрела, называют работным временем.

К моменту выстрела нам известны только координаты точки A'_0. Если произвести выстрел при установках, отвечающих координатам этой точки, то к моменту достижения снарядом точки A'_0 цель окажется в точке A'_1, пройдя путь

$$A'_0A'_1 = \bar{v}(\tau_р + t_0),$$

где t_0 — время полета снаряда до A'_0.

Вернемся в исходное положение и произведем выстрел при установках, соответствующих точке A'_1. Так как время полета снаряда до нее t_1 (для взятого случая меньше t_0), то к моменту достижения снарядом точки A'_1 цель переместится в точку A'_2, пройдя путь

$$A'_0A'_2 = v(\tau_р + t_1).$$

Возьмем в исходный момент для расчета установок орудий координаты точки A'_2. Пусть время полета снаряда до нее равно t_2; при этом будем иметь $t_2 > t_1$. За время подготовки выстрела и время полета снаряда цель переместится на величину $A'_0A'_3 = v(\tau_р + t_2)$. В этом случае отклонение разрыва A'_2 относительно цели A'_3 будет меньше, чем для предыдущего расчета данных стрельбы.

Если в исходный момент для расчета данных взять координаты точки A'_3, время полета снаряда до которой равно t_3, то цель в момент разрыва будет в точке A'_4. Для этого расчета данных отклонение разрыва относительно цели ($A'_4A'_3$) будет еще меньше.

Нетрудно видеть, что, произведя еще несколько таких последовательных приближений, можно найти такую точку $A'_у$, время полета снаряда до которой практически будет равно времени перемещения цели до нее из точки выстрела $A'_в$.

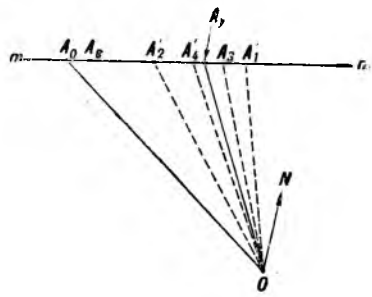


Рис. 524. Схема последовательных приближений при решении задачи встречи

Точку $A'_у$, в которой по расчетам снаряд должен встретить движущуюся цель, называют упрежденной точкой. Положение последней относительно исходной точки определяется вектором

$$A'_0A'_у = \bar{v}(\tau_р + t),$$

где t — время полета снаряда до упрежденной точки.

Время $(\tau_р + t)$ называют упредительным временем. При непрерывной передаче данных на орудия и непрерывной их установке работное время равно нулю, и упредительным временем является время полета снаряда.

Определение координат упрежденной точки составляет сущность решения так называемой задачи встречи. Так как координаты цели непрерывно изменяются, то задачу встречи необходимо также решать непрерывно. Зная координаты упрежденной точки, нетрудно перейти от них к установкам прицельных приспособлений орудия и трубки.

Выше предполагалось, что направление и скорость движения цели за упредительное время заданы. Однако закон движения цели на этом промежутке нам никогда неизвестен. На основании измеряемых в каждый данный момент координат положения цели закон ее движения может быть известным только за промежуток времени, предшествующий упредительному времени. Так например, имея исходной точкой (положение

цели в момент последнего определения координат) для решения задачи встречи точку A_0' (рис. 525), мы можем сказать, что цель двигалась по направлению $mA_1'A_2'A_0'$ со скоростью v. Дальше цель может двигаться по любому направлению и с любой возможной скоростью. Следовательно, задача встречи вообще говоря неопределенна. Поэтому приходится делать то или иное предположение о законе движения цели, или, как принято называть, принимать гипотезу о движении цели за упредительное время. Например, если принять, что цель от исходного момента будет двигаться по направлению $A_0'n$ (рис. 525) с постоянной скоростью v, то в этом случае задача встречи становится определенной; в результате ее решения могут быть найдены упрежденная точка A_y' и установки орудия и трубки.

При выборе той или иной гипотезы исходят из тактических свойств цели при выполнении ею боевой задачи. В зенитной артиллерии наиболее часто принимают гипотезу, которая может быть сформулирована так: цель за упредительное время движется прямолинейно, равномерно и в горизонтальной плоскости, соответственно тому, как она двигалась в момент, исходный для решения задачи встречи. Если основной целью зенитной артиллерии считать самолет-бомбардировщик, то основанием для принятия указанной гипотезы являются следующие соображения:

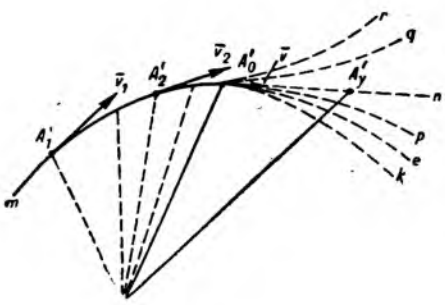


Рис. 525. Схема движения цели

а) ограниченные возможности маневра, особенно при полете в составе группы;

б) стремление находиться меньшее время над территорией неприятеля;

в) выполнение бомбометания требует на определенном отрезке пути (боевом курсе) прямолинейного и равномерного движения на одной высоте, так как большинство прицелов бомбометания рассчитано для этого режима полета;

г) стремление выйти из зоны обстрела ЗА по кратчайшему расстоянию.

Следует указать, что современное состояние авиации в отношении увеличения ее маневренности, а также развития техники бомбометания с пикирования заставляет зенитную артиллерию искать более общую гипотезу и применять другие способы стрельбы, которых касаться здесь не представляется возможным.

На практике всегда будут ошибки стрельбы от несоответствия принятой гипотезы действительному движению цели, причем ошибки эти будут тем меньше, чем меньше упредительное время.

Уменьшение упредительного времени $\tau_y = \tau_p + t$ возможно, во-первых, путем уменьшения работного времени τ_p и доведения его до нуля и, во-вторых, путем уменьшения времени полета снаряда за счет увеличения его начальной скорости.

Итак, особенностями стрельбы по быстродвижущимся целям являются:

1) необходимость принятия гипотезы о движении цели за упредительное время;

2) подготовка исходных данных связана с решением задачи встречи, сущность которой составляет согласование времен полета снаряда и цели;

3) необходимость непрерывного и мгновенного решения всей задачи стрельбы.

Отметим еще одну особенность, заключающуюся в невозможности ведения пристрелки в том смысле, как это понимается при стрельбе по неподвижной цели. Каждое отдельное решение производится для определенного момента времени; поэтому здесь может итти речь только о вводе корректур после получения систематических отклонений разрывов относительно цели. Больше того, даже ведение корректуры огня принимает условный характер, так как результат ввода корректур может проявиться только по истечении времени полета снаряда, выпущенного при исправленных установках. За это время условия стрельбы могут значительно измениться, тем более если еще учесть применяемый целью противозенитный маневр.

Отсюда — необходимость тщательной предварительной подготовки стрельбы и точного решения задачи для того, чтобы обеспечить поражение цели первыми залпами.

2. Решение задачи встречи

Рассмотрим более общий случай движения воздушной цели (рис. 526).

Пусть в исходный момент цель находится в точке A_0 на высоте H. В соответствии с принятой гипотезой цель за упредительное время будет двигаться по направлению kk с постоянной скоростью v и на постоянной высоте H. За работное время ее перемещение будет

$$A_0A_в = v\tau_р,$$

за время полета снаряда до упрежденной точки

$$A_вA_у = vt.$$

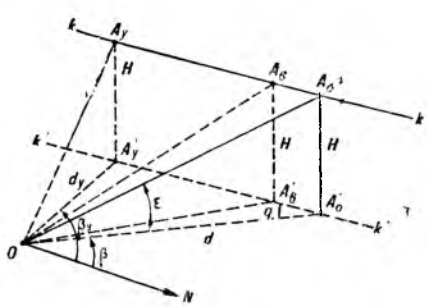


Рис. 526. Решение задачи встречи в пространстве

Решение задачи встречи сводится к решению упредительного треугольника $OA_0A_у$ или к решению треугольника $OA_0'A_у'$ в горизонтальной плоскости.

Для решения задачи встречи должны быть известны:

1) текущие координаты — высота H, угол места цели ε и азимут β;

2) параметры движения цели — скорость v и курсовой угол q.

Курсовым углом цели называют угол в горизонтальной плоскости между направлением цель — орудие и направлением движения цели; курсовой угол измеряют от 0° до 180°.

Переход к решению упредительного треугольника $OA_0'A_у'$ в горизонтальной плоскости осуществляют определением горизонтальной дальности d из выражения

$$d = H \operatorname{ctg} \varepsilon. \qquad (1)$$

Текущие координаты (β, ε, H) определяют соответствующими приборами. Параметры движения могут быть определены различными способами. Одним из способов определения скорости и курсового угла является засечка двух положений цели A_1 и A_2 (рис. 527) — в начале и в конце выбранного наблюдательного времени.

Направление движения цели определяют прямой, проходящей через полученные точки; средняя скорость за наблюдательное время $\tau_н$ будет:

$$v = \frac{s_н}{\tau_н}, \qquad (2)$$

где $s_н$ — перемещение цели за время $\tau_н$.

Величины d, β, v и q являются входными данными для решения упредительного треугольника, а искомыми величинами — координаты упрежденной точки: упрежденная горизонтальная дальность d_y и упрежденный азимут β_y.

Могут быть два метода решения задачи встречи: геометрический и аналитический.

Сущность геометрического метода заключается в геометрическом построении в определенном масштабе треугольника, подобного упредительному треугольнику на местности (рис. 528):

$$\bar{d}_y = \bar{d} + \bar{v}(\tau_p + t); \tag{3}$$

$$t = f(d_y, H). \tag{4}$$

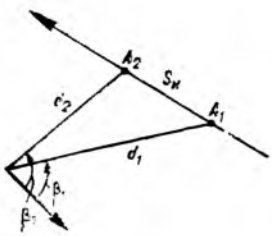


Рис. 527. Определение вектора скорости цели по двум засечкам

Сущность аналитического метода составляет решение системы уравнений, связывающих элементы упредительного треугольника, например решение следующей системы:

$$d_y = \sqrt{d^2 + [v(\tau_p + t)]^2 - 2dv(\tau_p + t)\cos q}; \tag{5}$$

$$\sin \Delta\beta = \frac{v(\tau_p + t)\sin q}{d_y}; \tag{6}$$

$$t = f(d_y, H). \tag{7}$$

Выражение (7) задается в табличном виде (балистическими таблицами) как зависимость времени полета снаряда от горизонтальной дальности и высоты.

Так как в это выражение входит искомая величина d_y, то при обоих методах задача встречи может быть решена только последовательными

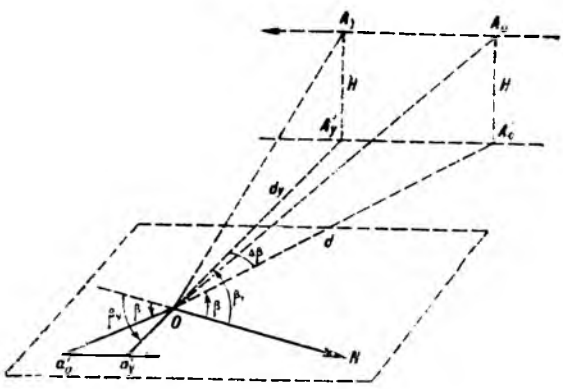


Рис. 528. Принцип геометрического метода решения задачи встречи

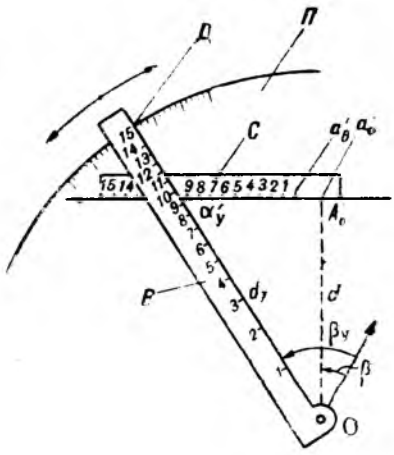


Рис. 529. Графическое согласование времен:
Б — высотная линейка; С — скоростная линейка; П — планшет; Д — азимутальная шкала

приближениями, по принципу, указанному на рис. 524; практически эти последовательные приближения осуществляются в ПУАЗО непрерывно и мгновенно.

Здесь укажем только на один способ решения задачи встречи — способ геометрического построения упредительного треугольника с графическим согласованием времен.

Пусть на планшете *П* (рис. 529) в определенном масштабе отмечено текущее положение цели — точка A_0', нанесенная по ее координатам β и d.

Скоростную линейку *C*, имеющую шкалу, рассчитанную по скорости цели v, с которой цель движется в данной момент, прикладывают так, чтобы срез ее совпадал с курсом цели, а начальная риска a_0' — с точкой на планшете.

На линейке делениями отмечены: положение цели в момент выстрела $a_в'$ и положения в конце каждой секунды времени полета снаряда (цели) — 1, 2, 3... и т. д.

Шкала другой линейки *B*, имеющей своим центром вращения точку *O* (положение орудия), рассчитана для данной высоты *H* полета цели. На линейке в масштабе планшета нанесены горизонтальные дальности, отвечающие временам полета снаряда через одну секунду. Линейку *B*, рассчитанную для вполне определенной высоты, называют высотной линейкой.

Для определения упрежденной точки (ее проекции на горизонтальную плоскость) необходимо произвести согласование времен. Для этого достаточно вращением высотной линейки добиться, чтобы в месте пересечения ее со скоростной линейкой время полета цели и время полета снаряда имели одинаковые значения, в результате чего упредительный треугольник $Oa_0'a_y'$ окажется построенным. Координатами упрежденной точки будут: упрежденная горизонтальная дальность d_y, которая может быть считана по соответствующей шкале на линейке *B*, и упрежденный азимут β_y, считываемый по азимутальной шкале *Д* планшета.

3. ПУАЗО-2

Прибор управления зенитным огнем ПУАЗО-2 предназначается для управления огнем четырехорудийной зенитной батареи.

Входными данными для прибора являются координаты текущего положения цели: азимут β и угол места цели ε, определяемые в процессе непрерывного слежения за целью имеющимися на приборе визирами, и высота *H*, командуемая на прибор по данным стереодальномера.

В основу устройства ПУАЗО положена гипотеза о прямолинейном, равномерном и горизонтальном движении цели за упредительное время. Исходные данные для стрельбы: установка трубки n, угол возвышения φ и упрежденный азимут β_y — непрерывно передаются на орудия при помощи электрической синхронной передачи. Соответственно получаемым данным орудия непрерывно наводят в упрежденную точку.

ПУАЗО-2 состоит из следующих приборов: 1) планшета-построителя, 2) балистического преобразователя и 3) принимающих приборов на орудиях.

Для соединения приборов в единую систему служит кабельное оборудование, состоящее из кабелей разного сечения и разной длины. Питание всей системы электроэнергией осуществляется аккумуляторной батареей.

Планшет-построитель имеет своим назначением выработку и передачу на балистический преобразователь упрежденных координат: d_y и β_y.

Планшет-построитель (рис. 530) состоит из стола (планшета) *1*, устанавливаемого на штатив *2*, и верхнего строения, основанием которого служит обод *3*. На мосту *4* установлена высотная стойка, состоящая из ходового винта *5*, трубы *6*, кронштейна *7* и валика визиров *8* и *9*.

Визир *8* служит для слежения за целью в вертикальной плоскости (по углу места цели), а визир *9* — для слежения в горизонтальной плоскости (по азимуту).

Горизонтальную наводку прибора осуществляют вращением верхнего строения относительно неподвижного планшета при помощи маховика *10*.

Вертикальную наводку производят вращением маховиков *11*, ось которых связана передачей с зубчатыми рейками *12*, укрепленными на салазках *13*. С последними шарнирно соединены линейки *14* наклонной дальности, которые входят в направляющие валика визиров.

При перемещении салазок линейки *14* и параллельные им оптические оси обоих визиров получают соответствующий угол наклона в вертикальной плоскости.

Высотная стойка вместе с салазками и линейками составляет построительный механизм для выработки горизонтальной дальности

$$d = H \operatorname{ctg} \varepsilon.$$

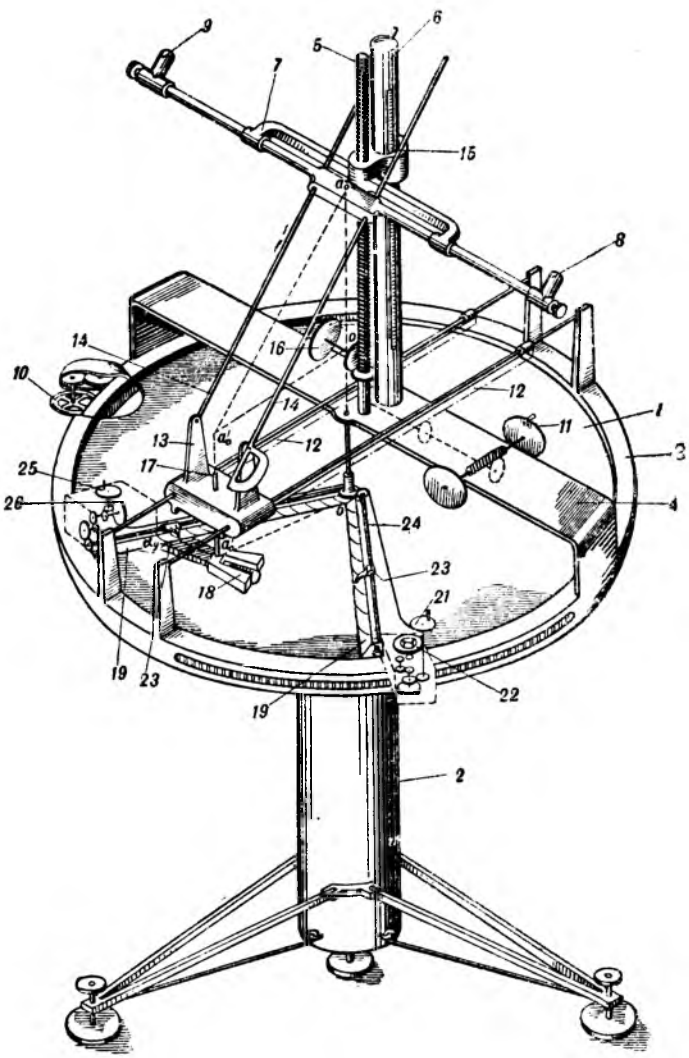


Рис. 530. Планшет-построитель:

1 — планшет; *2* — штатив; *3* — обод; *4* — мост; *5* — ходовой винт высоты; *6* — высотная труба; *7* — кронштейн; *8* и *9* — визиры; *10* и *11* — маховики; *12*—рейки горизонтальной дальности; *13*—салазки; *14*—линейки наклонной дальности; *15* — шкала высоты; *16* — маховик установки высоты; *17* — ось курсовой каретки; *18* — курсовая каретка; *19* — высотные каретки; *21* — маховик установки упрежденного азимута; *22* — датчик упрежденного азимута; *23* — указатель; *24* — ходовой винт; *25* — маховик установки упрежденной горизонтальной дальности; *26* — датчик упрежденной горизонтальной дальности

Указанным механизмом осуществляется построение треугольника Oa_0a_0', подобного вертикальному треугольнику $a_0A_0'A_0$ (рис. 531) в пространстве.

Высоту H устанавливают по шкале *15* (рис. 530) вращением маховика *16*, при этом строят катет $Oa_0 = mH$ (рис. 531), где m — масштаб высоты на приборе (масштаб шкалы *15*).

При визировании на цель в вертикальной плоскости угол наклона линеек *14* равен углу места цели ε. В результате этого салазки получают перемещение

$$Oa_0' = Oa_0 \operatorname{ctg}\varepsilon = mH \operatorname{ctg}\varepsilon = md,$$

т. е. расстояние от оси вращения линеек *14* до центра планшета равно горизонтальной дальности *d* в масштабе высоты. Таким образом, при установленной на высотной стойке высоте цели и непрерывном слежении за ней визирами центр оси *17*, входящей в гнездо салазок, обозначает проекцию текущего положения цели на горизонтальную плоскость.

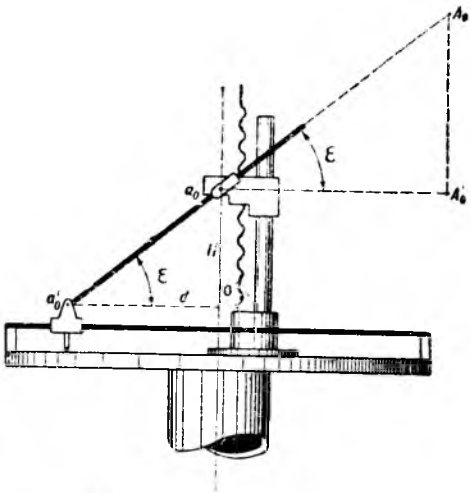


Рис. 531. Построитель горизонтальной дальности

Выдвинутый из оси *17* пишущий механизм (карандаш) чертит на поверхности планшета горизонтальную проекцию пути цели в масштабе прибора.

Курсовая каретка *18*, ведомая осью, благодаря утяжеленной хвостовой ее части (корпуса *1*) (рис. 532) и трению ролика *2* о поверхность планшета автоматически устанавливается по направлению движения цели; при этом натянутая на передней части нить *3* составляет с направлением горизонтальной дальности курсовой угол *q*.

Для определения скорости цели служит прозрачная целлулоидная пластинка *4* с вырезом в плоскости симметрии каретки. По обе стороны выреза нанесены две скоростные шкалы для наблюдательного времени 20 и 10 секунд.

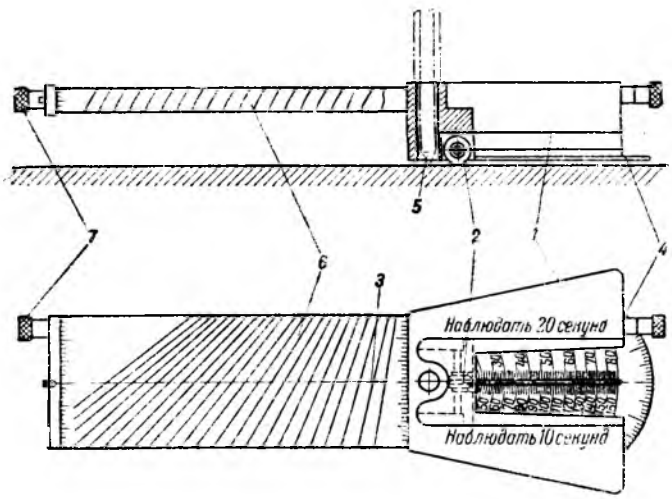


Рис. 532. Курсовая каретка:

1 — корпус; *2* — ролик; *3* — нить; *4* — целлулоидная пластинка; *5* — карандаш; *6* — график; *7* — кнопка установки скорости

Скорость определяют измерением пути, проходимого целью за наблюдательное время. Для этого в момент пуска секундомера опускают карандаш *5*, который чертит на планшете курс цели. В момент, отвечающий концу наблюдательного времени, скорость считают по соответствующей шкале против конца прочерченного пути. Полученную скорость устанавливают на скоростном графике *6*, охватывающем в виде бесконечной ленты переднюю часть курсовой каретки, вращением кнопки *7* до совмещения соответствующего деления шкалы графика с натянутой нитью.

На скоростном графике (рис. 533) нанесен пучок прямых, отвечающих уравнению

$$S = (\tau_р + t)v. \tag{8}$$

По оси ординат отложены скорости цели v, а по оси абсцисс — перемещения S. Каждому значению $(\tau_р + t)$ отвечает определенная прямая. На графике проведены прямые для целых (через одну секунду) значений времени полета цели t. Для удобства пользования графиком промежутки между прямыми окрашены в разные цвета. Точки пересечения нити курсовой каретки с прямыми графика образуют шкалу скоростной линейки для соответствующей скорости.

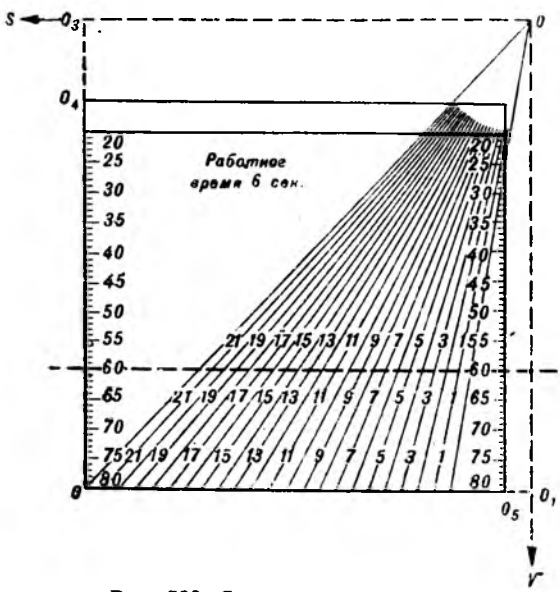


Рис. 533. Скоростной график

Скоростные графики имеются для нескольких принятых работных времен $\tau_р$. При работе с синхронной передачей данных на орудия пользуются графиком, рассчитанным для работного времени 0 секунд.

Рамка с высотными каретками *19* (рис. 530), подвешенная на оси в центре планшета, и курсовая каретка *18* составляют вместе механизм построения упредительного треугольника $Oa_0'a_y'$ (рис. 535). На каждую из кареток *19* надет высотный график, края которого закреплены на двух валиках.

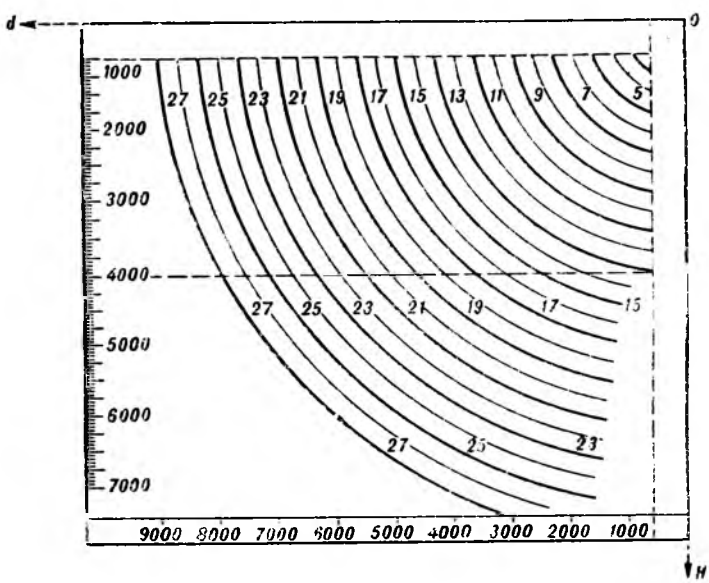


Рис. 534. Высотный график

Высотный график (рис. 534), по оси ординат которого отложена высота H, а по оси абсцисс — горизонтальная дальность d, имеет семейство кривых равных значений времени полета снаряда (изохрон):

$$t = f_1(d, H), \tag{9}$$

построенных по данным балистических таблиц применительно к определенной артиллерийской системе (орудие, снаряд, трубка). Изохроны нанесены для целых (через одну секунду) значений времени полета t.

Промежутки между кривыми окрашены в те же цвета, что и промежутки между соответствующими прямыми скоростного графика.

График при перематывании его с одного валика на другой (рис. 535) скользит по ребру *20*, образуя на сгибе прямую для некоторой постоянной высоты (высотную линейку).

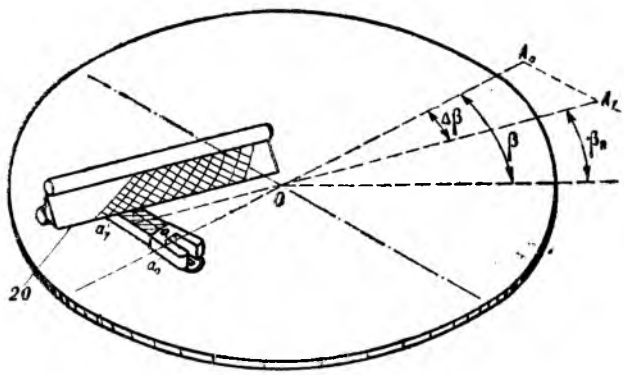


Рис. 535. Построение упредительного треугольника с помощью графиков

Для решения задачи встречи высотный график устанавливают соответственно скомандованной высоте; вращением рамки совмещают одинаковые времена (цвета) в месте пересечения ребра высотной каретки с нитью курсовой каретки. Это пересечение a'_y является искомой упрежденной точкой, а угол поворота рамки от основного направления (ориентированного перед работой диаметра 30-00 планшета) — упрежденным азимутом β_y.

Поворот рамки (рис. 530) осуществляют вращением маховика *21*; при этом угол поворота рамки передается датчику *22* синхронной передачи.

Для определения упрежденной горизонтальной дальности служат два указателя *23*, перемещаемые ходовыми винтами *24*, которые соединены между собой конической парой и связаны зубчатой передачей с маховиком *25* и датчиком *26*. Вращением маховика указатель *23* совмещают с упрежденной точкой, при этом датчик поворачивается пропорционально упрежденной дальности d_y. Таким образом, в результате непрерывного согласования времен и совмещения указателя с упрежденной точкой датчиками *22* и *26* передаются на балистический преобразователь по кабелю величины d_y и β_y.

Наличие на рамке двух высотных графиков связано с тем, что при противоположном направлении движения цели (направлении курсовой каретки) ось *17* не позволяет высотной каретке переходить через ее (оси) центр. В этом случае совмещение производят другим высотным графиком. Угол (60°) раствора между каретками учитывают по сигналу на балистическом преобразователе.

Сигналом на преобразователе служит красная или синяя лампочка, зажигающаяся от переключателя, установленного на планшете-построителе. При работе правой (окрашенной в красный цвет) кареткой переключатель устанавливают на красный сигнал, при работе левой (синего цвета) — на синий сигнал.

Балистический преобразователь (рис. 536) предназначен для выработки угла возвышения и данных трубки, а также для ввода корректур в передаваемые на орудия данные.

Выработка угла возвышения и данных трубки производится посредством двух графиков, нанесенных на барабанах *1* и *2*.

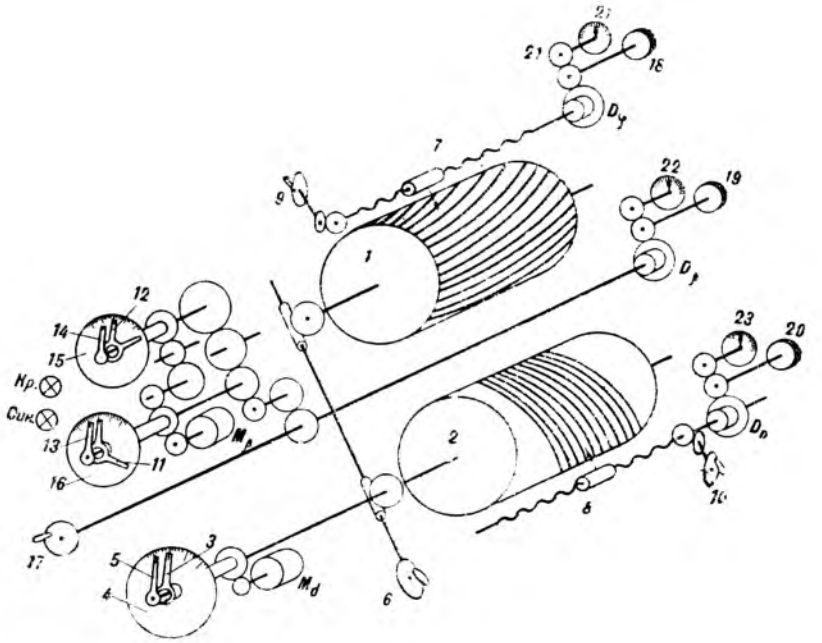


Рис. 536. Схема балистического преобразователя:

1 — барабан углов возвышения; *2* — барабан установки трубки; *3* — „электрическая" стрелка шкалы горизонтальной дальности; *4* — шкала горизонтальной дальности; *5* — „механическая" стрелка; *6* — маховик установки горизонтальной дальности; *7* и *8* — указатели; *9* — маховик установки угла возвышения; *10* — маховик установки трубки; *11* — „электрическая" стрелка точной шкалы упрежденного азимута; *12* — „электрическая" стрелка грубой шкалы упрежденного азимута; *13* и *14* — „механические" стрелки; *15* и *16* — шкалы; *17* — маховик установки упрежденного азимута; *18*, *19* и *20* — маховики установки корректур; *21*, *22* и *23* — шкалы корректур; M_d — принимающий мотор горизонтальной дальности; M_β — принимающий мотор азимута

График угла возвышения (рис. 537), воспроизводящий балистическую функцию

$$\varphi = f_2(d, H), \tag{10}$$

построен следующим образом. По окружности барабана (оси ординат) отложены горизонтальные дальности d, а по образующей барабана (оси абсцисс) — углы возвышения φ. На графике нанесены изовысотные кривые через интервалы 100 *м* и более.

График трубки (рис. 538), воспроизводящий функцию

$$n = f_3(d, H), \tag{11}$$

имеет изовысотные кривые в зависимости от горизонтальной дальности d — по окружности барабана и трубки n — по образующей.

Упрежденная горизонтальная дальность, передаваемая на принимающий синхронный мотор M_d (рис. 536), поступает на вращение стрелки *3*. По шкале *4* может быть произведен отсчет упрежденной дальности. Совмещением стрелки *5* (механической) со стрелкой *3* (электрической) величина упрежденной горизонтальной дальности передается маховиком *6* на вращение барабанов с балистическими графиками.

Угол возвышения и данные трубки вырабатываются в результате совмещения указателей *7* и *8* с изовысотными кривыми, соответствующими скомандованному значению высоты цели.

Совмещение указателей производится маховиками *9* и *10*; при этом угол возвышения передается на орудия датчиком (диференциальным) D_φ, а трубка — датчиком D_n.

Поступающий с планшета-построителя упрежденный азимут посредством синхронного мотора M_β фиксируется на шкале точного отсчета азимута стрелкой *11* и на шкале грубого отсчета — стрелкой *12*.

Для учета угла между высотными каретками планшета-построителя „электрические“ стрелки шкал азимута *15* и *16* имеют два плеча, окрашенных в красный и синий цвета. Угол между плечами стрелки *12* грубого отсчета равен углу между каретками.

„Механические“ стрелки *13* и *14* совмещаются маховиком *17* с соответствующими плечами „электрических“ стрелок в зависимости от сигнала. Сигнальные лампочки помещены рядом со шкалами азимута. Передача упрежденного азимута на принимающие приборы орудий осуществляется посредством датчика D_β, связанного с маховиком *17*.

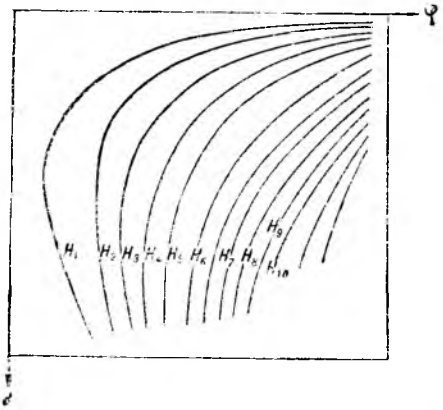


Рис. 537. График углов возвышения

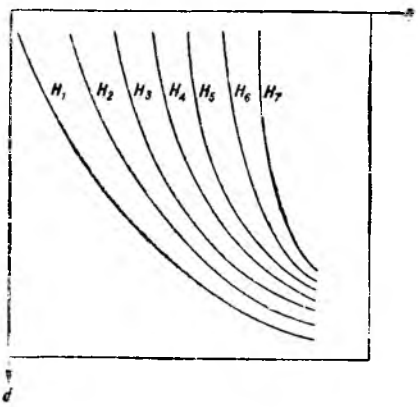


Рис 538 График трубки

Для введения на датчики D_φ, D_β и D_π корректур угла возвышения, азимута и трубки служат маховики *18*, *19* и *20* и соответственно шкалы *21*, *22* и *23*.

Принимающие приборы орудий посредством кабеля соединены электрически с соответствующими датчиками балистического преобразователя. Принимающие азимута и угла возвышения установлены на специальных кронштейнах, укрепленных на вращающейся части орудия. Принимающие трубки могут быть установлены на „автоматических установщиках“ трубки. При отсутствии последних установку трубки считывают со шкалы и устанавливают вручную.

Каждый из этих принимающих приборов состоит из синхронного мотора, фиксирующего показания шкал „электрическими“ стрелками, и зубчатой передачи, связывающей „механические“ стрелки с соответствующим приводом наведения орудия.

Непрерывная наводка орудий производится совмещением стрелок на принимающих приборах.

4. Синхронная передача

Передачу с одного пункта на другой называют синхронной, если при движении какой-либо детали (стрелки) (рис. 539) в пунктах передачи *A* и приема *B* сохраняется для любого момента времени пропорциональность перемещений от некоторого начального положения.

Синхронная передача, примененная в ПУАЗО-2, состоит из следующих основных элементов: 1) датчика; 2) синхронного мотора; 3) линии передачи и 4) питания электроэнергией (аккумуляторной батареи).

Датчик с одним или несколькими синхронными моторами составляет звено передачи, при помощи которого передается только одна величина.

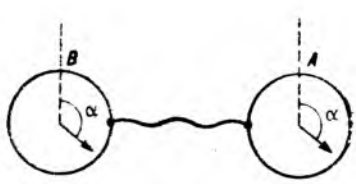


Рис. 539 Принцип синхронной передачи

Датчик (рис. 540) представляет собой ключ-коммутатор тока, состоящий из расположенных по окружности, изолированно от металлической станины, девяти ламелей *6* и двух роликов *7*, осуществляющих контакт с ламелями. Ролики находятся на подвижной части *8*. Ось *9* ключа механически соединяется с механизмом, с которого снимается передаваемая величина.

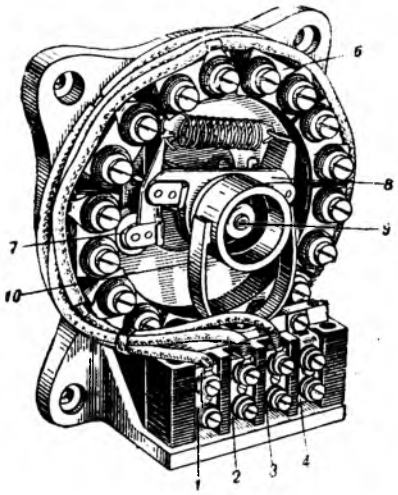


Рис. 540. Датчик:

1, 2, 3, 4 — клеммы; *6* — ламель; *7* — ролик; *8* — подвижная часть; *9* — ось; *10* — щетки

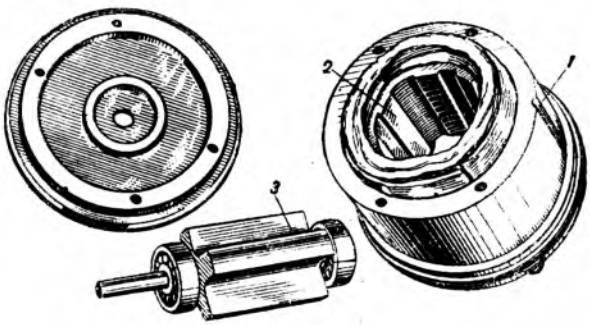


Рис. 541. Принимающий мотор (в разобранном виде):

1 — статор; *2* — полюс; *3* — ротор

Ламели соединены в три группы (фазы), провода от которых подведены к клеммам *1, 2, 3*. Для подвода тока к подвижной части служат клемма *4* и щетки *10*.

Синхронный мотор (рис. 541) состоит из статора *1* с шестью явно выраженными полюсами *2* и ротора *3*, представляющего собой железный сердечник крестообразного сечения. Ротор не имеет обмотки и является лишь магнитопроводом.

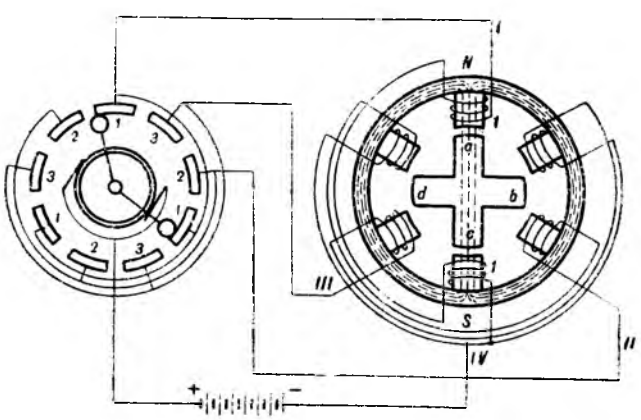


Рис. 542. Схема соединения звена синхронной передачи. Под током находится 1-я фаза

Схема соединения звена синхронной передачи представлена на рис. 542. Соединение осуществляется четырьмя проводами, из которых *I*, *II* и *III* — фазы, а *IV* — общий провод.

Принцип действия синхронной передачи заключается в передаче ряда последовательных импульсов тока, воспринимаемых мотором в виде движений ротора. Возьмем начальное положение роликов ключа, при котором ими замыкаются ламели №1. В этом случае под током будет находиться фаза *I*. Включенные в эту фазу катушки *1—1* статора создадут магнитный

поток, направление которого показано магнитными силовыми линиями. Ротор займет положение, отвечающее минимальному сопротивлению магнитной цепи. Поворотом подвижной части ключа на 20° против движения часовой стрелки создадим второе замыкание (рис. 543). Тогда под током окажутся фазы *I* и *II*, и ротор займет новое положение.

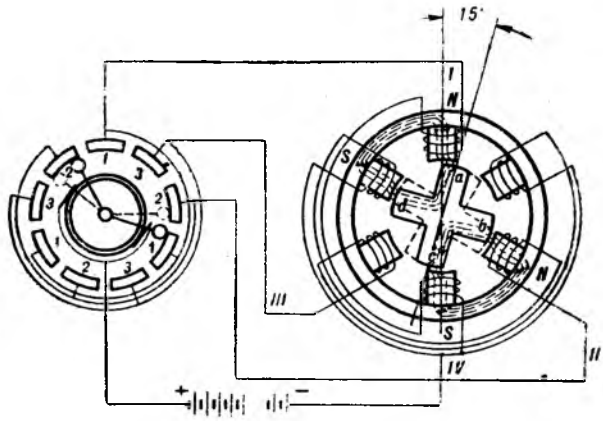


Рис. 543. Поворот ротора при переходе от одного замыкания к другому на датчике

Следующему замыканию (положения роликов и ротора показаны пунктиром) отвечает подключение только одной фазы *II*.

Дальнейшее движение роликов создаст ряд последовательных замыканий согласно следующей таблице.

Фаза \ № замыкания	1	2	3	4	5	6	7
I	+	+	—	—	—	+	+
II	—	+	+	+	—	—	—
III	—	—	—	+	+	+	—

В таблице знак плюс (+) обозначает включение фазы, а знак минус (—) — отсутствие тока в фазе. Начиная с седьмого замыкания таблица повторяется.

Один оборот ключа дает 18 замыканий (9 подключений мотора на одну фазу и 9 — на две фазы). Каждому замыканию соответствует поворот ротора на 15°. Следовательно, для получения одного оборота мотора ключ должен сделать 24 замыкания.

Соотношение оборотов ключа и мотора $\frac{18}{24}$ остается все время постоянным.

Ротор мотора движется скачками (импульсами) от одного положения к другому. Одно замыкание соответствует определенной цене передаваемой величины. Например, в передаче азимута и угла возвышения одному замыканию отвечают 3 деления угломера передаваемой величины.

Для нормальной работы моторов требуется напряжение 20 — 22 *в* К одному ключу могут быть параллельно подключены несколько синхронных моторов.

В ПУАЗО-2 с каждым ключом балистического преобразователя соединены четыре принимающих прибора (по числу орудий).

Рассмотренные выше ключи установлены на планшете-построителе для передачи на балистический преобразователь упрежденных координат — дальности и азимута.

Ключи балистического преобразователя отличаются от рассмотренных тем, что у них ламели могут поворачиваться независимо от роликов. Благодаря такому устройству количество замыканий может быть увеличено или уменьшено в зависимости от взаимного направления вращений роликов и ламелей. Такие ключи называют поэтому диференциальными.

В балистическом преобразователе ролики диференциальных ключей вращаются от маховиков угла возвышения, азимута и трубки, а ламели — от маховиков ввода корректур.

Из рассмотрения принципа действия синхронной передачи следует, что при включении тока роторы моторов могут занять любое из возможных устойчивых положений. При этом имеющееся рассогласование отсчетов на шкалах датчика и принимающего будет оставаться все время при дальнейшей работе. Поэтому перед началом работы на ПУАЗО-2 необходимо согласовать показания „электрических" стрелок с отсчетами на шкалах, связанных с датчиками.

Согласование стрелок производят при включенном токе специальными рукоятками вручную через соответствующие отверстия в принимающих приборах орудий и у шкал упрежденной дальности и азимута в балистическом преобразователе.

5. Время запаздывания установки трубки

Вследствие непрерывного изменения передаваемых с ПУАЗО данных необходимо каждый выстрел производить при установках, отвечающих моменту выстрела. Этому полностью соответствуют вертикальная и горизонтальная наводки орудия, осуществляемые совмещением стрелок на принимающих приборах. Для трубки идеальным случаем явилась бы ее установка в канале ствола в момент выстрела. Однако такая проблема остается еще далеко не разрешенной; поэтому величина установки трубки к моменту выстрела запаздывает.

Рис. 544. Схема запаздывания трубки

Промежуток времени от момента принятия команды величины трубки до момента выстрела называют временем запаздывания установки трубки. Это время складывается из времени, необходимого на самую установку, и времени, необходимого на заряжание и производство выстрела.

Время запаздывания трубки может достигать 4—5 секунд.

Для выяснения влияния этого запаздывания обратимся к рис. 544. Пусть в некоторый момент проекцией положения цели на горизонтальную плоскость будет точка A_1. Орудие, по полученным с ПУАЗО данным, будет в этот же момент наведено соответственно упрежденной горизонтальной дальности OA_y'. Вследствие запаздывания трубки к моменту выстрела цель переместится на величину

$$A_1A_2 = \tau_з v,$$

где $\tau_з$ — время запаздывания трубки.

В момент выстрела орудие получает установки соответственно упрежденной горизонтальной дальности OA_y'', а снаряд имеет установку трубки, отвечающую дальности OA_y'. В результате в горизонтальной дальности разрыва будет ошибка

$$\Delta d = BA_y''.$$

Так как угол γ — небольшой, то можно приближенно принять треугольник $A_y'BA_y''$ за прямоугольный, откуда

$$\Delta d = BA_y'' = -A_y'A_y'' \cos q_y''.$$

Пренебрегая также согласованием времен на участке $A'_y A''_y$, т. е. принимая, что $A_1A_2 = A'_y A''_y$, получим:

$$\Delta d = -v\tau_з \cos q''_y . \qquad (12)$$

При скорости цели $v = 100$ *м/сек*, курсовом угле $q''_y = 165^\circ$ и $\tau_з = 4$ сек., будем иметь:

$$|\Delta d| = 100 \cdot 4 \cdot 0{,}966 \approx 385 \text{ м}.$$

При движении цели от батареи разрывы будут недолетными, а при движении на батарею — перелетными. Отсюда вытекает необходимость учета поправок на время запаздывания трубки.

Учет поправок может производиться различными способами. Одним из способов учета является выработка в ПУАЗО установки трубки по упрежденной горизонтальной дальности, исправленной на величину Δd, определяемой по формуле (11), т. е. установка трубки вырабатывается в виде

$$n = f_з(d_y + \Delta d, H). \qquad (13)$$

Очевидно, что для этого способа в ПУАЗО должны быть дополнительные механизмы для выработки величины Δd и последующего суммирования с дальностью d_y.

Другой способ учета времени запаздывания заключается в вводе поправок непосредственно в установку трубки, по величине ее изменения за время запаздывания. Практически в ПУАЗО-2 это сводится к периодическому (при каждом выстреле) определению по шкале балистического преобразователя величины изменения трубки и вводу поправки маховиком корректуры, так как обычно темп огня численно равен времени запаздывания установки трубки.

6. Механический установщик трубки

При зенитной стрельбе высокий темп огня приводит к тому, что установка трубки снаряда вручную часто сопровождается значительными ошибками, вызывающими разброс разрывов по дальности. Кроме того, установка вручную требует некоторого времени, в результате чего увеличивается время запаздывания трубки.

При пользовании механическим установщиком значительно уменьшается разброс ошибок в установке трубки; при этом время на установку равно нулю, так как она производится непрерывным совмещением стрелок на принимающем приборе.

Механические установщики могут быть самых разнообразных конструкций, но большинство из них имеет общий принцип устройства, который рассмотрим по схеме установщика, представленной на рис. 545.

Патрон, вставленный в раструб *1*, упирается трубкой в разжимную муфту, имеющуюся на дне стакана *2*. На торце стакана находятся два захвата *3*, сидящих шарнирно относительно осей вращения *m*. Концы захватов поджимаются пружинками к оси стакана; при этом захваты выступают за внутреннюю стенку стакана. Такие же захваты *4* имеются на торце раструба *1*.

При вставленном снаряде захваты *4* находятся в одном поперечном сечении с выступом *17*, укрепленным на основании трубки, а захваты *3* — в одном сечении со скобой *18*, связанной с дистанционным кольцом трубки.

При помощи рукоятки *6* и оси *7*, связанной со стаканом *2*, последний вращается в подшипниках, укрепленных на неподвижной части установщика.

Раструб *1* вращается червячной передачей *8* от маховика *9* совмещения стрелок принимающего прибора *10*.

При упоре выступа *12* рукоятки в конец штока *11* захваты *3* занимают нулевое положение. Положение раструба, при котором захваты *4* находятся против захватов *3*, отвечает установке трубки „К" (картечь) на принимающем приборе.

Совмещением стрелок захваты *4* непрерывно смещаются относительно нулевого положения на угол, отвечающий требуемому повороту дистанционного кольца на трубке.

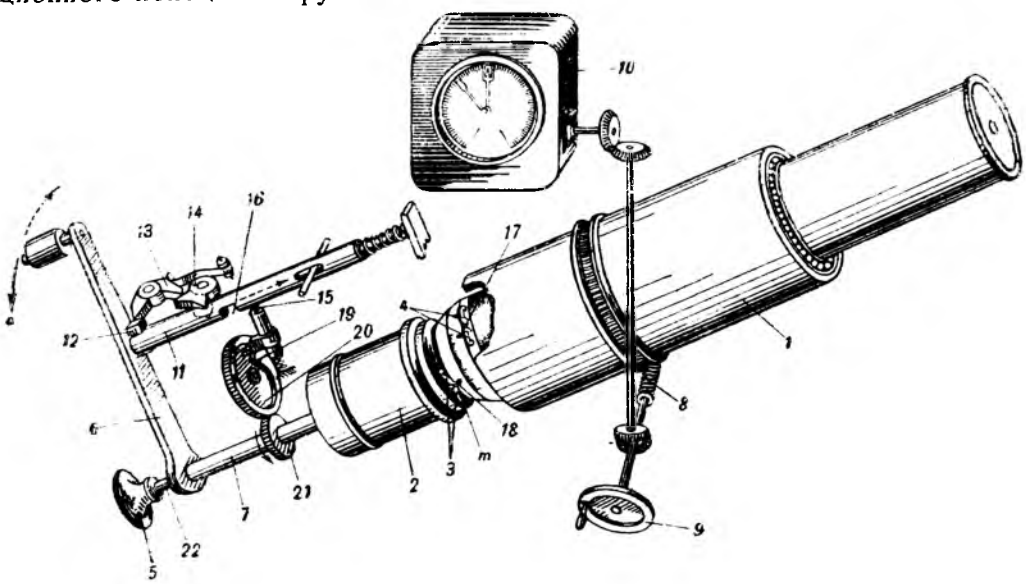


Рис. 545. Схема механического установщика трубки:

1 — раструб; *2* — стакан; *3* и *4* — захваты; *5* — кнопка; *6* — рукоятка; *7* — вал; *8* — червячная передача; *9* — маховик установки трубки; *10* — принимающий трубки; *11* — шток; *12* — выступ; *13* — коромысло; *14* — рычаг; *15* — шептало; *16* — вырез штока; *17* — выступ основания трубки; *18* — скоба; *19* — кулачок; *20* и *21* — шестерни; *22* — стержень

Пусть требуется установить трубку, отвечающую углу поворота дистанционного кольца на угол α (рис. 546, *а*), заданный поворотом захватов *4* относительно нулевого положения „К". Возьмем в пределах окружности любое положение выступа *17* основания трубки и скобы *18* дистанционного кольца.

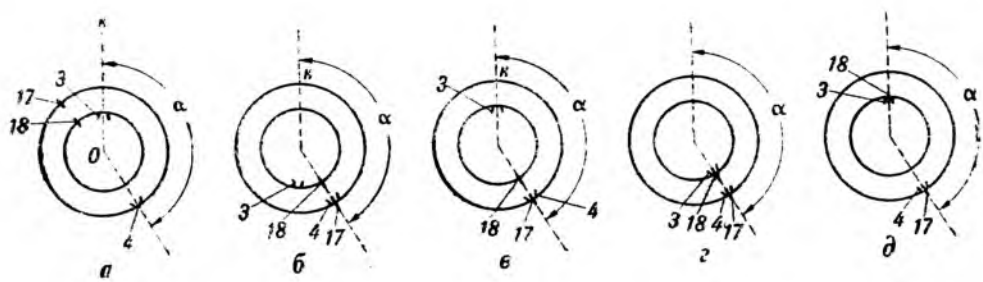


Рис. 546. Процесс установки трубки

Процесс установки сводится к повороту рукоятки *6* на два оборота по ходу часовой стрелки (рис. 545). Чтобы начать поворот рукоятки, необходимо вначале утопить шток *11*, в который упирается выступ *12*. Для этого рукоятку поворачивают на небольшой угол (до упора) в обратную сторону; при этом выступ *12* через коромысло *13* и рычаг *14* воздействует на шток, перемещая его (показано пунктирной стрелкой), пока шептало *15* не западет в вырез *16*. Шток удерживается шепталом в утопленном состоянии. Снаряд, увлекаемый трением разжимной муфты стакана *2*, вращается вместе с ним.

При вращении рукоятки выступ *17* (рис. 546, *б*) основания трубки войдет в захваты *4*, и снаряд, остановленный ими, будет все время оставаться в этом положении. При дальнейшем вращении рукоятки разжимная муфта проворачивается относительно снаряда (трубки), а к концу первого оборота захваты и выступы трубки займут положение, показанное на рис. 546, *в*.

При повороте рукоятки на угол α (рис. 546, *г*) захваты *3* сцепятся со скобой *18*, через которую вызовут вращение дистанционного кольца.

К концу второго оборота (рис. 546, *д*) скоба *18* окажется смещенной на требуемый угол α.

Для ограничения поворота рукоятки *6* в пределах двух оборотов служит кулачок *19* (рис. 545), находящийся внутри шестерни *20*. Передаточное число к ней от шестерни *21* равно 1:2. Перед концом второго оборота кулачок опустит шептало *15*, и шток под действием пружины выйдет.

Таким образом, при любом начальном положении выступов на трубке снаряда и любом заданном угле α (установке трубки) к концу второго оборота рукоятки трубка будет установлена.

При сделанных двух оборотах рукоятки трубка продолжает непрерывно устанавливаться совмещением стрелок принимающего прибора. Патрон освобождается нажатием кнопки *5*, воздействуя через стержень *22* на разжимное кольцо.

7. Звукоулавливатели и прожекторы

В зависимости от назначения звукоулавливатели делятся на два типа: звукоулавливатели-подслушиватели и звукоулавливатели-пеленгаторы.

Первые применяются для работы на постах воздушного наблюдения и служат для обнаружения воздушного противника с целью предупреждения противовоздушной обороны о приближении неприятеля. Звукоулавливатели-пеленгаторы совместно с прожекторами применяются для обслуживания зенитной артиллерии и истребительной авиации. Для обслуживания зенитной артиллерии звукоулавливатели могут применяться и самостоятельно, без прожекторов.

Принцип работы звукоулавливателя (в дальнейшем под звукоулавливателем будем подразумевать исключительно пеленгаторы) основан на свойствах биноурального слушания. Звукоулавливатели могут быть рассчитаны на усиление какого-нибудь одного из факторов, составляющих биноуральный эффект, — либо разности интенсивностей, либо разности времен.

Наибольшее применение получили звукоулавливатели, работающие по методу разности времен. В качестве приемников звуковых колебаний такие звукоулавливатели имеют рупоры.

Рис. 547. Принцип устройства звукоулавливателя

Повышение степени ощущения направления на источник звука достигается увеличением длины акустической базы биноурального слушания и концентрацией звуковой энергии, приходящей к каждому уху. Для этого два рупора (рис. 547), расположенные на некотором расстоянии l один от другого, соединяют с ушами наблюдателя двумя трубками (звукопроводами) равной длины.

Концентрация энергии достигается применением рупора той или иной формы и длины.

Рупоры укрепляют на раме, вращающейся вокруг некоторой оси. Определение направления на источник звука сводится к вращению рамы (рупоров) до положения, при котором получается ощущение звука, исхо-

дящего в направлении плоскости симметрии головы; при этом звук кажется идущим сзади (с затылка). Отсюда это положение получило название „затылочного равновесия".

Точность определения направления на источник звука тем выше, чем больше длина акустической базы.

Пусть рупоры R_1 и R_2 (рис. 548), находящиеся на расстоянии l один от другого, расположены в акустическом поле плоской волны. Пусть $S'O$ — направление акустического луча. Разностью путей, проходимых акустической волной для достижения рупоров R_1 и R_2, является величина

$$NR_2 = C\,\Delta t,$$

где C — скорость звука;

Δt — разность времен прихода одной и той же фазы колебаний.

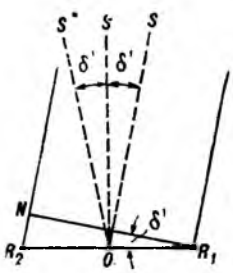


Рис. 548. Угловая ошибка определения направления

Если величина Δt является минимально предельной разностью времен, которая еще воспринимается наблюдателем, то при перемещении источника звука в пределах угла $S'OS$ все направления будут казаться наблюдателю равноценными. Из треугольника R_1NR_2

$$\sin \delta' = \frac{C\Delta t}{l}. \qquad (14)$$

Вследствие небольшой величины угла δ' можно формулу (14) переписать в виде

$$\delta' = \frac{C\Delta t}{l}.$$

Совершенно очевидно, что в пределах такого же угла $S''OS$ будет аналогичная картина. В результате точность определения направления на источник звука будет выражаться равенством

$$\delta = \frac{2C\Delta t}{l}, \qquad (15)$$

где δ — полная угловая ошибка.

На рис. 549 графически представлена зависимость угловой ошибки δ от длины акустической базы согласно выражению (15).

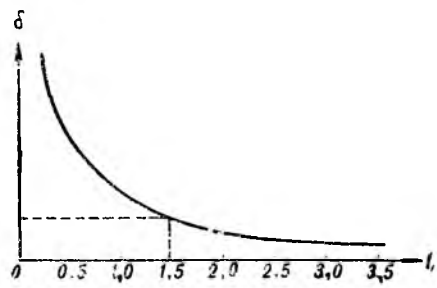


Рис. 549. Зависимость угловой ошибки звукоулавливателя от длины акустической базы

Из графика видно, что при больших значениях l увеличение базы хотя и уменьшает угловую ошибку δ, но очень незначительно (кривая асимптотически приближается к оси l). Поэтому за наивыгоднейшую длину акустической базы принимают 1,5 *м*, так как дальнейшее увеличение приводит к излишнему весу и усложнению конструкции звукоулавливателя.

С помощью двух рупоров можно определять направление на источник звука только в одной плоскости. Для определения направления в пространстве звукоулавливатели имеют четыре рупора, акустические базы которых взаимно перпендикулярны.

На рис. 550 представлен звукоулавливатель, смонтированный на автоприцепке. Рупоры *1—1* служат для определения азимута, рупоры *2—2* — для определения угла места цели. Звукопроводы от рупоров *1—1* подведены к слухачу, управляющему вращением звукоулавливателя в горизонтальной плоскости, а от другой пары рупоров — к слухачу, управляющему вращением звукоулавливателя в вертикальной плоскости.

Зенитный прожектор (рис. 551), применяемый для совместной работы со звукоулавливателем, имеет в качестве источника света дугу

интенсивного горения. Дуга помещается в фокусе параболического зеркала, дающего луч с углом раствора 0°,5—1°,5.

Наводка прожектора осуществляется при помощи электрической силовой синхронной передачи со специального поста управления. В случае порчи синхронной передачи наводку можно производить вручную с помощью длинной штанги, присоединяемой к прожектору.

В передаваемые на прожектор данные (азимут и угол места цели) необходимо вводить поправки, так как определяемое при помощи звукоулавливателя направление на движущуюся цель (самолет) не совпадает с действительным (оптическим) направлением.

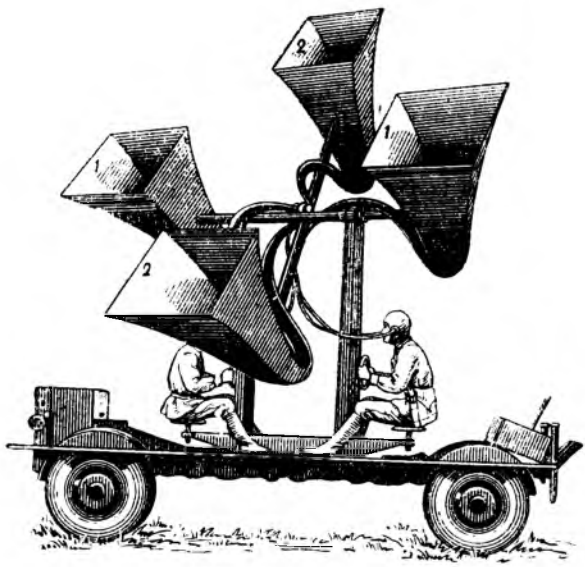


Рис. 550. Рупорный звукоулавливатель:

1 — рупоры для определения направления в горизонтальной плоскости; *2* — рупоры для определения направления в вертикальной плоскости

Необходимость ввода поправок является следствием наличия следующих основных факторов: 1) запаздывания звука; 2) ветра и 3) отстояния (параллакса) между звукоулавливателем и прожектором. Последнее обстоятельство вызвано тем, что при помощи звукоулавливателя, кроме шума самолета, воспринимаются все остальные посторонние шумы, в частности шипение дуговой лампы прожектора и шум агрегата прожекторной станции, питающего дугу электроэнергией. Поэтому прожектор располагают на расстоянии около 100—120 *м* от звукоулавливателя.

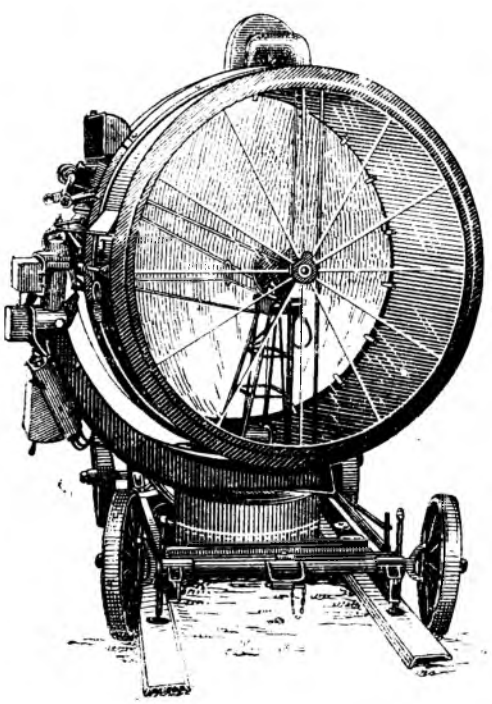


Рис. 551. Зенитный прожектор

Пусть самолет (рис. 552), движущийся по направлению *P*, находится в некоторый момент в точке *A*. Пока звуковая волна достигнет звукоулавливателя *L*, самолет успеет переместиться в точку *C*. Отсюда, получаемое при помощи звукоулавливателя направление *LA* является кажущимся („акустическим“) направлением, отвечающим положению цели для прошлого момента. Чтобы получить для данного момента оптическое направление, необходимо ввести поправку — угол *ALC*.

Если, кроме того, дует ветер, который для простоты рассуждения возьмем в направлении (*W*), обратном движению цели, то за время распространения звуковой волны до звукоулавливателя центр ее переместится на величину *AB*. В результате при помощи звукоулавливателя будет воспринято направление *LB*, отличающееся от оптического направления *LC* на угол *BLC*.

Угол *BLC* является поправкой на ветер и угол *ALC*—поправкой на время запаздывания звука.

Если прожектору придать направление *LC*, то его луч пройдет через точку *D*. Следовательно, чтобы осветить цель, необходимо ввести еще поправку на параллакс, определяющуюся углом *DSC*.

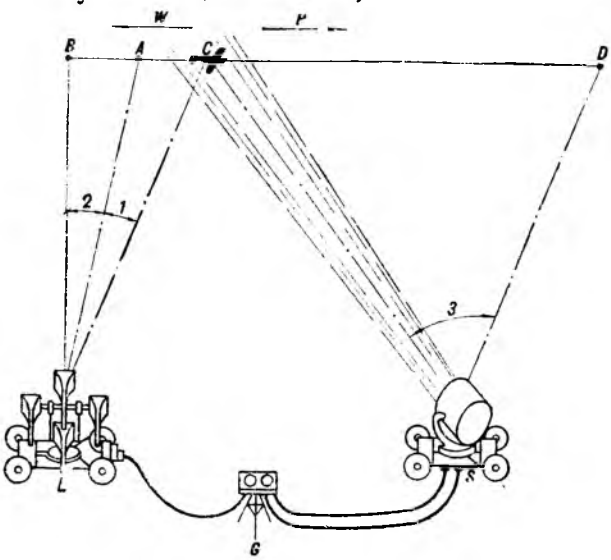


Рис. 552. Схема учета поправок для придания прожектору направления на самолет

Перечисленные выше поправки зависят от скорости звука, скорости и направления ветра, скорости и курсового угла цели, а также от высоты и угла места цели.

Для непрерывной выработки и ввода поправок служит специальный счетно-решающий прибор — корректор.

Последний помещается на прицепке (рис. 553), на которой установлен звукоулавливатель. Со звукоулавливателя при помощи карданных валов на корректор передаются „неисправленные" азимут и угол места цели. Эти данные исправляют при помощи корректора и через пост управления прожектору сообщают истинное направление на цель.

Рассмотренные выше приборы: звукоулавливатель, корректор, пост управления, а также прожектор и прожекторная станция—составляют так называемую систему „Прожзвук".

Схема соединения и расположения системы (на сближенной дистанции) представлена на рис. 554. С корректора звукоулавливателя по кабелю *3* синхронной передачи непрерывно поступают на пост управления *6* исправленные азимут и угол места цели. Совмещением стрелок на шкалах поста управления прожектор автоматически наводится в цель при помощи силовой синхронной передачи, осуществляемой по кабелю *5*. Кроме того, прожектор соединяют с постом управления кабелем *4* синхронной передачи, предназначенной для обратного контроля приданного прожектору направления.

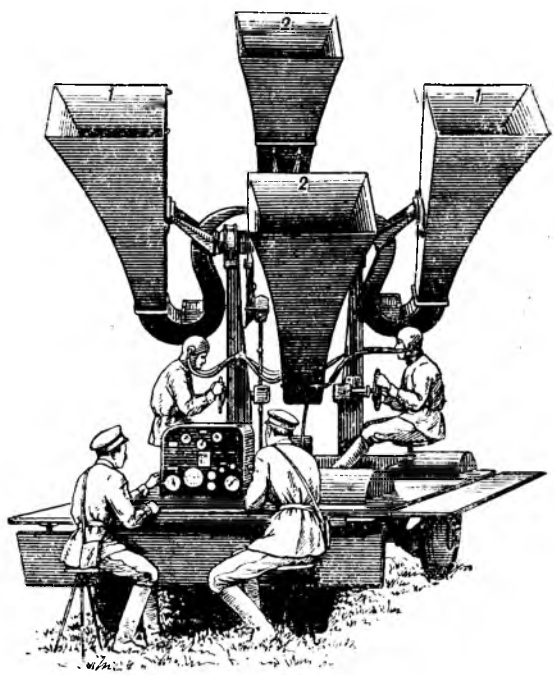


Рис. 553. Прицепка со звукоулавливателем и корректором системы „Прожзвук"

Для питания всей системы электроэнергией служит прожекторная станция — специально оборудованный автомобиль, на шасси которого установлен генератор *7* постоянного тока, соединенный с валом двигателя. Генератор служит для питания лампы прожектора (по кабелю *1*) и силовой синхронной передачи (по кабелю *2*). Кроме того, на прожекторной станции имеется преобразователь постоянного

тока в переменный для питания синхронной передачи от звукоулавливателя и прожектора (обратный контроль) на пост управления.

При помощи системы „Прожзвук" цель непрерывно удерживается в луче прожектора, что обеспечивает возможность действий зенитной артиллерии или истребительной авиации.

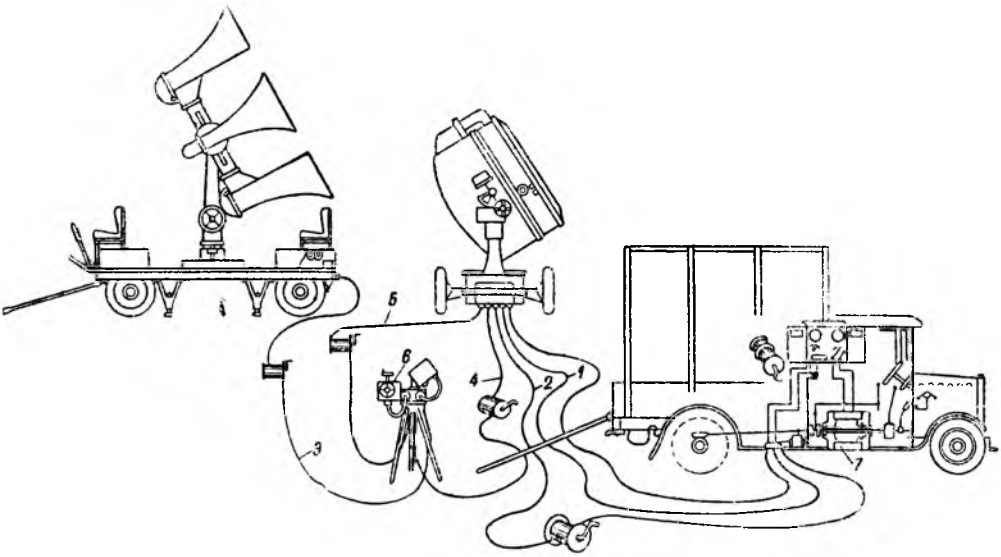


Рис. 554. Схема соединения и расположения системы „Прожзвук" (на сближенной дистанции):
1, 2, 3, 4, 5 — кабели; *6* — пост управления; *7* — генераторной прожекторной станции

8. Контрольный углоизмерительный прибор „кинотеодолит"

Кинотеодолиты предназначаются для объективного определения координат положения движущихся в воздухе целей. Они применяются в качестве контрольных приборов на полигонах и в других научно-испытательных учреждениях для получения траектории движения и выявления закона скоростей.

При помощи кинотеодолита можно:

а) определять угловые скорости воздушной цели (самолета);

б) определять угловые и линейные отклонения разрывов снарядов относительно воздушной цели или точки пространства;

в) определять траектории трассирующих пуль и снарядов;

г) по производимым засечкам самолета во время взлета и посадки получать данные, характеризующие аэродинамические качества самолета, и др.

Кинотеодолит представляет собой сочетание теодолита и киноаппарата, дающего ряд последовательных снимков объекта.

На кинопленку одновременно снимаются положение объекта относительно визирной оси (перекрестья), а также показания шкал, определяющие направление визирной оси в пространстве, и номер кадра.

Момент съемки каждого кадра фиксируется специальным хронографом. Таким образом, дан-

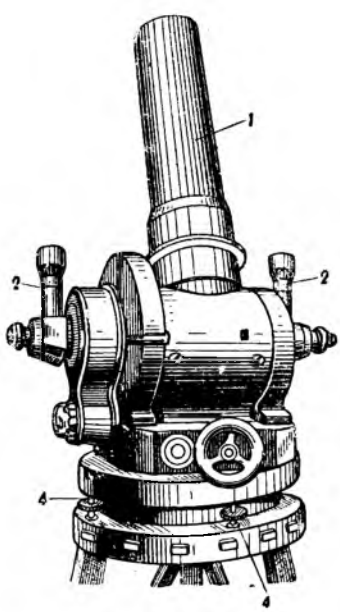


Рис. 555. Фотокинотеодолит фирмы „Аскания-Верке":
1 — труба с фотообъективом; *2* — трубы для слежения; *4* — установочные винты

ные кинотеодолита исключают личные ошибки наблюдателя — ошибки считывания, ошибки от запаздывания и ошибки наводки. При этом наводка кинотеодолита может производиться неточно, так как неизбежные отклонения быстродвижущегося объекта от визирной оси учитываются при обработке.

Кинотеодолит фирмы „Аскания-Верке" (рис. 555 и 556) состоит из следующих основных частей: трубы *1* с фотообъективом для производства снимков, двух коленчатых визуальных труб *2* для наводки прибора и слежения за движущимся объектом, фильмовой кассеты *3* с киномеханизмом, работающим от мотора, оптической системы, предназначенной для проектирования изображения показаний шкал нумератора (счетчика числа кадров) и отсчетных лимбов и механизмов наведения прибора.

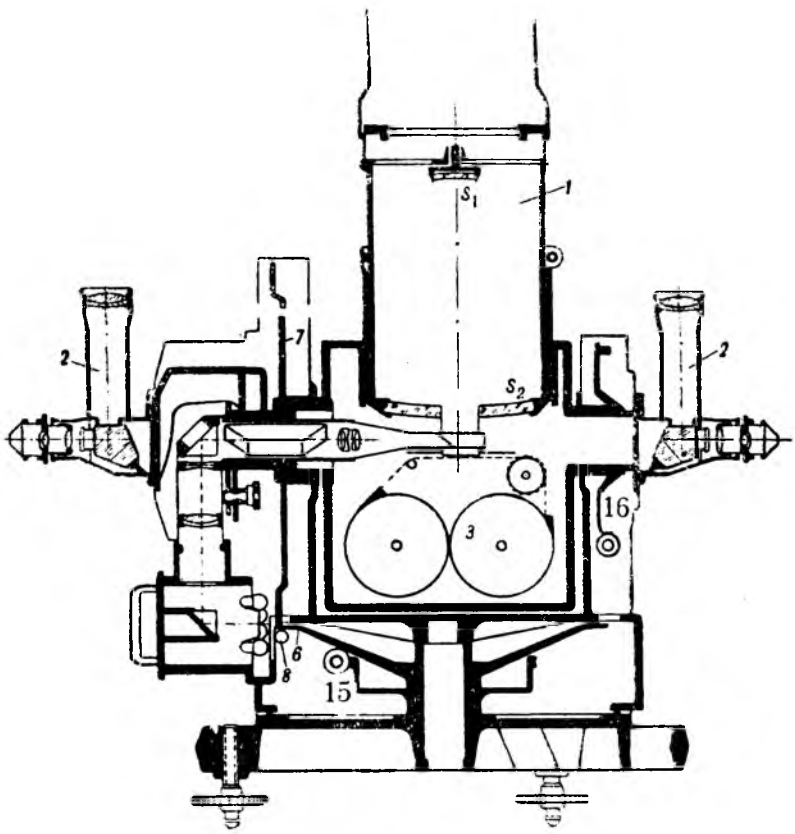


Рис. 556. Схематический разрез фотокинотеодолита

Горизонтирование прибора по двум укрепленным на нем уровням производится при помощи трех установочных винтов *4*.

Схематический разрез кинотеодолита представлен на рис. 556. Оптическую систему основной трубы составляет зеркальный фотообъектив, состоящий из двух вогнутых зеркал S_1 и S_2. В центре большого зеркала имеется отверстие, через которое лучи попадают на кинопленку, находящуюся в фокальной плоскости.

Ход лучей в объективе показан на рис. 557. Перед пленкой помещается плоско-параллельная пластинка *5* с перекрестьем, которое при съемке проектируется на кадр. Изображение показаний шкал горизонтального лимба *6*, вертикального лимба *7* и нумератора *8* проектируется на пленку при помощи оптической системы, состоящей из призм *9*, *10*, *11* и *12* и линз *13* и *14*. Шкалы отсчетных лимбов и нумератора, располо-

женные в одной плоскости, освещаются при помощи внутреннего осветительного устройства. Призма *11* (Дове) вращается вокруг общей горизонтальной оси прибора и служит для компенсации поворота изображения шкал на пленке вследствие вращения прямоугольной призмы *12* вместе с центральной частью прибора—трубой *1* (рис. 555) и фильмовой кассетой. Экспонирование пленки происходит во время остановок фильма, создаваемых грейферным механизмом киноаппарата.

Дисковый затвор, вырез которого в момент экспозиции проходит перед съемочным окном кассеты, и нумератор работают синхронно с киномеханизмом. Для наводки прибора в горизонтальной и вертикальной плоскостях служат два червячных механизма *15* и *16*, соединенных со штурвалами.

Основные данные кинотеодолита:

а) фокусное расстояние фотообъектива . . . . 600 *мм*
б) поле зрения фотообъектива . . . . . 2°
в) увеличение визуальной трубы . . . . . 6$^{\times}$ и 12$^{\times}$ (два окуляра)
г) поле зрения визуальной трубы . . . . . 7° и 3°,5
д) точность отсчета лимбов . . . . . 1′

Теодолит обслуживается одним наводчиком. Точность измерения углов по движущемуся объекту характеризуется срединными ошибками 1′,3 в вертикальной плоскости и 1′,8 в горизонтальной плоскости (с учетом поправок на отклонения от визирной оси).

Кинотеодолиты в количестве двух или трех устанавливают на заранее выбранные точки на местности, расстояние между которыми (база) точно известно.

Все приборы через центральное распределительное устройство, находящееся на главном пункте, включают в общую электрическую цепь. Съемка производится на всех пунктах автоматически, через равные промежутки времени, для чего в электрическую цепь включают заводной контакт с часовым механизмом, на котором устанавливают промежуток времени между засечками—0,33; 0,5; 1,0 и 2,0 секунды.

Заводной контакт посылает на пункты через установленный промежуток времени электрический импульс. Под действием последнего на каждом теодолите срабатывает реле и происходит съемка.

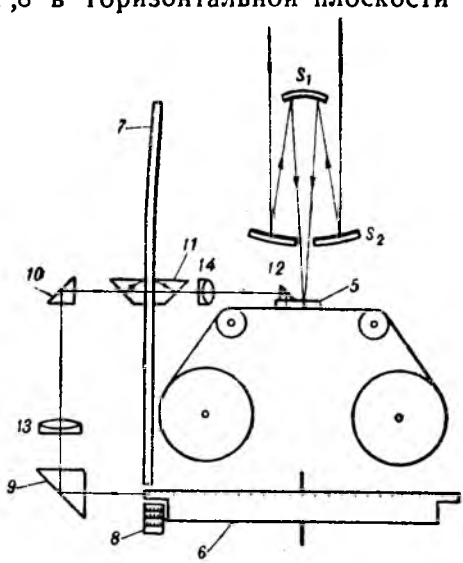


Рис. 557. Ход лучей в фотокинотеодолите:

5 — плоско-параллельная пластинка; *6* — горизонтальный лимб; *7* — вертикальный лимб; *8* — нумератор; *9* и *10* — прямоугольные призмы; *11* — призма Дове; *12* — прямоугольная призма; *13* и *14* — линзы

При необходимости иметь промежуток времени между засечками, больший чем 2 секунды, применяют простой выключатель (манипулятор), замыкание которого производится вручную по секундомеру.

На главном пункте находится хронограф, фиксирующий моменты срабатывания затворов каждого кинотеодолита. На бумажной ленте хронографа, движущейся со строго постоянной скоростью, при помощи реле, связанного электрически с хронометром или метрономом, наносится масштаб времени.

Другие реле хронографа соединены с контактами, имеющимися на каждом кинотеодолите. В момент срабатывания фотозатвора контакты замыкаются, и на ленте хронографа делается соответствующая отметка.

Таким образом, с помощью хронографа можно учитывать запаздывание срабатывания одного теодолита по отношению к другому.

Для определения поправок на смещение изображения объекта относительно перекрестья заснятых кадров кинотеодолиту придают специальный проекционный прибор, при помощи которого линейные смещения непосредственно переводятся в угловые поправки.

ГЛАВА VI

ПРИЦЕЛЬНЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

1. Сущность наводки и ее виды

Наводка орудия заключается в приведении оси канала ствола к моменту производства выстрела в положение, при котором средняя траектория снаряда будет проходить через желаемую точку.

Численные значения параметров, определяющих положение оси канала ствола орудия относительно цели, получают в процессе подготовки данных стрельбы и передают на орудие в виде команд. В общем случае этими параметрами являются два угла, отсчет значений которых в зависимости от вида наводки производят или относительно линии цели или относительно горизонта орудия и линии наводки. Полученные при подготовке стрельбы величины указанных углов устанавливают по шкалам прицела при любом произвольном положении оси канала ствола орудия. После этого действуют на механизмы наведения системы и придают орудию требуемое положение в пространстве.

Таким образом, под наводкой орудия понимают совокупность всех действий по приданию оси канала ствола требуемого положения относительно цели.

Придание оси канала ствола требуемого положения в горизонтальной или вертикальной плоскости соответственно называется горизонтальной наводкой или вертикальной наводкой.

Прямой наводкой называется наводка, которая осуществляется непосредственным визированием по цели. Этой наводкой пользуются при стрельбе с открытых позиций по видимой цели.

Непрямой наводкой называется такая, при которой угол в горизонтальной плоскости придается орудию или визированием по вспомогательной точке на местности, или относительно фиксированной линии на неподвижной части лафета, а угол в вертикальной плоскости придается относительно горизонта орудия. Непрямой наводкой пользуются при стрельбе наземной артиллерии с закрытых позиций.

Полупрямой наводкой называют наводку, при которой угол в горизонтальной плоскости придается орудию визированием по цели, а угол в вертикальной плоскости придается относительно горизонта так же, как и при непрямой наводке.

Любой вид наводки выполняют при помощи механизмов наведения и специальных устройств, называемых прицельными приспособлениями или прицелами.

2. Терминология и определения

Прямую OC, совпадающую с осью канала ствола наведенного орудия, называют линией выстрела (рис. 558).

Примем точку стояния орудия O за начало координатной системы XYZ, плоскость XOY которой совпадает с горизонтом орудия, и вертикальная плоскость XOZ проходит через ось канала ствола.

Вертикальную плоскость *XOZ*, проходящую через линию выстрела *OC*, называют плоскостью выстрела или плоскостью стрельбы. В этой плоскости ось канала ствола орудия (линия выстрела) образует с горизонтом угол возвышения φ.

В результате деривации траектория снаряда не будет лежать в плоскости выстрела. Для принятой у нас правой нарезки орудия боковое отклонение снаряда происходит вправо от плоскости стрельбы.

Угол *MOX* между плоскостью стрельбы и линией *OM*, проходящей через точку пересечения нисходящей ветви траектории с горизонтом орудия (при нормальных условиях стрельбы), называют углом деривации.

Представим себе в точке *Ц* цель, размерами которой пренебрегаем (рис. 559). Прямая *ОЦ*, соединяющая орудие с целью, носит название линии цели. Вертикальную плоскость *ОЦЕ*, проходящую через линию цели *ОЦ*, называют плоскостью цели. Линия цели образует с горизонтом орудия угол места цели ε.

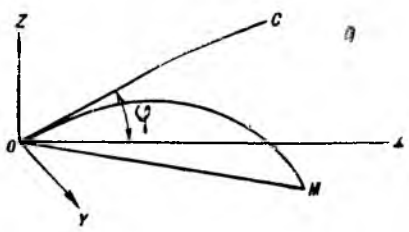


Рис. 558. Траектория снаряда

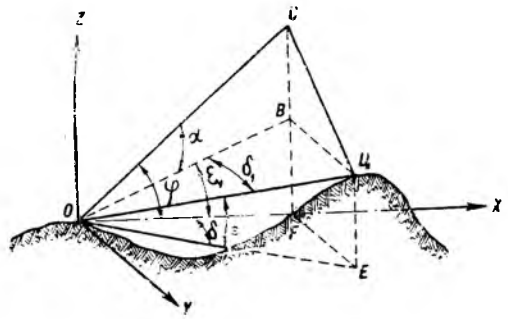


Рис. 559. Линии и углы при прямой наводке орудия

Перед выстрелом орудию следует придать такое положение, при котором средняя траектория снаряда будет проходить через цель. Это положение может быть определено углом возвышения φ и углом δ между плоскостью цели и плоскостью стрельбы. Углы φ и δ должны соответствовать данной дальности *ОЦ* и величине угла места цели ε. При прямой наводке положение орудия относительно линии цели *ОЦ* будет определяться углами α и δ_1.

Угол α, расположенный в вертикальной плоскости и образованный линией выстрела *OC* и проекцией линии цели на плоскость стрельбы, называют углом прицеливания.

Угол δ_1 между линией цели *ОЦ* и плоскостью стрельбы называют боковым углом прицеливания.

Угол δ между плоскостью стрельбы и плоскостью цели называют горизонтальным углом прицеливания. При нормальных условиях стрельбы и расположении цели на одном горизонте с орудием этот угол будет равен углу деривации.

Численные величины углов прицеливания α, отвечающие различным дальностям, приводятся в таблицах стрельбы; при этом предполагают, что цель находится на горизонте орудия. В таблицах стрельбы в виде поправок на деривацию даются также и углы δ.

Из чертежа (рис. 559) видно, что угол возвышения равен сумме угла прицеливания α и проекции ε_1 угла места цели на плоскость выстрела, т. е. $\varphi = \alpha + \varepsilon_1$.

Из чертежа (рис. 560) следует, что при отрицательном угле места цели угол возвышения φ равен разности углов α и ε_1, т. е. $\varphi = \alpha - \varepsilon_1$.

Ввиду малости боковых углов прицеливания проекция ε_1 угла места цели мало отличается от самого угла ε; поэтому на практике принимают угол возвышения φ равным алгебраической сумме углов прицеливания α и места цели ε, т. е.

$$\varphi = \alpha \pm \varepsilon.$$

Вспомогательный местный или искусственный предмет *Тн*, в который направляется линия визирования при непрямой наводке, принимают за точку и называют точкой наводки (рис. 561).

Прямую *ОТн*, соединяющую орудие с точкой наводки, называют линией наводки.

Вертикальную плоскость, проходящую через линию наводки *ОТн*, называют плоскостью наводки.

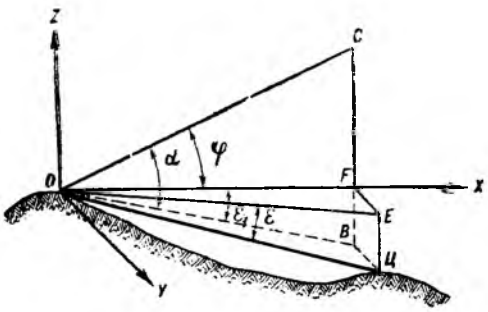


Рис. 560. Линии и углы при положении цели ниже орудия

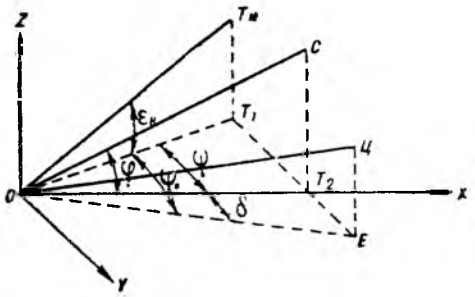


Рис. 561. Линии и углы при непрямой наводке орудия

Угол ψ_0 между плоскостью цели и плоскостью наводки называют углом горизонтальной наводки. Угол ψ между плоскостью стрельбы и плоскостью наводки будем называть просто углом наводки. Этот угол равен разности углов ψ_0 и δ, т. е. $\psi = \psi_0 - \delta$. При расположении точки наводки справа от плоскости цели угол наводки ψ будет равен сумме углов ψ_0 и δ, т. е. $\psi = \psi_0 + \delta$.

Угол $\varepsilon_н$ между линией наводки и горизонтом орудия называют углом места точки наводки.

При подготовке стрельбы в случае непрямой наводки определяются численные величины угла наводки ψ и угла возвышения φ или составляющих его углов α и ε. Величина угла места точки наводки $\varepsilon_н$ при подготовке стрельбы не определяется.

3. Принцип устройства прицелов для прямой наводки

На рис. 562 приведена схема простейшего неоптического пулеметного прицела. Основными элементами этого прицела являются визирное приспособление в виде целика *ц* и мушки *О* и прямая *Ос*, параллельная оси канала ствола. Прямую *цО*, проходящую через визирные точки неоптического прицела, называют линией визирования. В оптических прицелах линией визирования называют прямую, совпадающую с оптической осью визирных приспособлений.

Перед наводкой орудия линию визирования приводят в определенное положение относительно линии, параллельной оси канала ствола.

Линия визирования, занимающая определенное фиксированное положение относительно оси канала ствола в каждый данный момент наводки орудия, носит название линии прицеливания.

Прицельное приспособление должно иметь механизмы, позволяющие изменять положение линии прицеливания по отношению к оси канала ствола. В простейших неоптических винтовочных и пулеметных прицелах изменение положения линии прицеливания достигается изменением превышений целика *ц* над мушкой *О* и перемещением целика в боковом направлении. Установка (отсчет) различных превышений целика над мушкой и смещение целика в боковом направлении производят с помощью соответствующих шкал, имеющихся на стойке прицела и трубке целика.

Нетрудно видеть, что после произведенных в прицеле установок по шкалам линия прицеливания *цО* должна составлять с осью канала ствола (или линией, ей параллельной) углы, численно равные углам прицеливания α и δ_1. Первый из этих углов устанавливается в плоскости, проходящей через линию *Ос*, параллельную оси канала ствола орудия, и второй — в плоскости *Оцв*, ей перпендикулярной.

Будем называть углы α и δ_1, устанавливаемые по шкалам прицела, соответственно прицельным углом и боковым прицельным углом.

В наземной артиллерии широкое распространение получили дуговые прицелы с оптическим визирным приспособлением в виде панорамы. Принципиальная схема такого прицела приведена на рис. 563. В дуговых прицелах прицельный угол α устанавливают путем выдвижения стебля прицела из коробки, прикрепленной к качающейся части орудия, и боковой угол δ_1 — поворотом головной части панорамы вокруг оси ее корпуса. Для отсчета значений указанных углов предусматриваются шкалы. Шкала прицельных углов α наносится непосредственно на стебле прицела или на специальном дистанционном барабане, связанном кинематически со стеблем прицела. Шкала боковых прицельных углов помещается на кольце угломера панорамы.

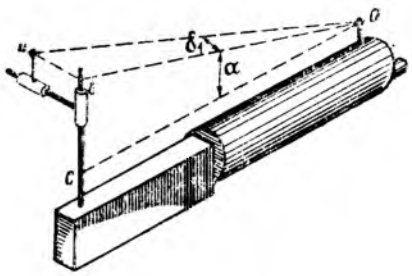


Рис. 562. Схема прицела для прямой наводки

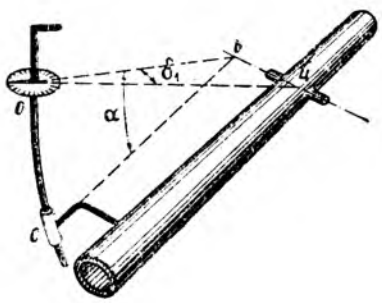


Рис. 563. Схема дугового прицела

После произведенных установок прицельных углов воздействуют на подъемный и поворотный механизмы наведения орудия и добиваются совмещения линии прицеливания *цО* с линией цели *ОЦ* (рис. 559). Кроме этого, следят за тем, чтобы плоскость прицельного угла α к концу наводки приняла вертикальное положение. При таком условии прямая *Ос* (рис. 562), а следовательно, и ось канала ствола займет правильное положение, определяемое величиной углов прицеливания α и δ_1.

Плоскость прицельного угла может быть приведена в вертикальное положение путем установки оси цапф качающейся части системы в горизонтальное положение. При горизонтальном положении оси цапф плоскость симметрии орудия, а следовательно, и плоскость прицельного угла принимают вертикальное положение. Приведение оси цапф качающейся части системы в горизонтальное положение достигается или выравниванием площадки под орудием или применением специальных горизонтирующих механизмов.

4. Принцип устройства качающихся прицелов

Требование горизонтального расположения оси цапф орудия крайне затрудняет наводку и усложняет подготовку орудия к стрельбе. Выравнивание площадки под орудием не может дать надлежащего решения и обеспечивает только приблизительную установку оси цапф в горизонтальном положении. Устройство в лафете горизонтирующего механизма обеспечивает требуемую точность наводки, но эта задача решается за счет значительного усложнения конструкции лафета.

В современных прицелах наземной артиллерии плоскость прицельного угла приводится в вертикальное положение путем поворота (качания) всего прицела вокруг оси *Cb*, параллельной оси канала ствола (рис. 564). Для контроля правильности установки указанной плоскости в вертикальном положении в прицеле имеется специальный уровень, который носит название поперечного уровня. Такие прицелы получили название качающихся прицелов.

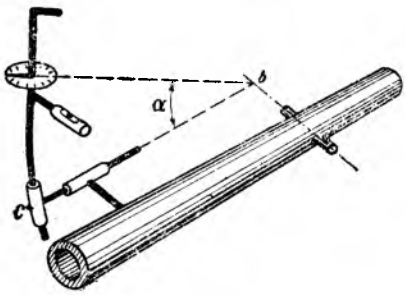


Рис. 564. Схема качающегося прицела

По окончании наводки с качающимся прицелом орудие принимает правильное положение не только при горизонтально расположенных цапфах качающейся части системы, но и в случае наклона их к горизонту. Таким образом, качающиеся прицелы автоматически исключают влияние наклона оси цапф на наводку.

5. Принцип устройства прицелов для непрямой наводки

Задача непрямой наводки заключается в том, чтобы по заданным углу наводки ψ и углу возвышения φ придать орудию требуемое положение в пространстве. Численные величины углов ψ и φ определяют при подготовке стрельбы.

Для непрямой наводки в прицеле, помимо визирного приспособления, имеется специальный уровень (боковой), который монтируют на стебле или корпусе прицела. Принципиальная схема дугового прицела для непрямой наводки приведена на рис. 565. Боковой уровень *a* этого прицела укреплен на стебле прицела. Выдвижением стебля прицела боковой уровень устанавливают так, чтобы угол между его осью и линией, параллельной оси канала ствола, был численно равен углу возвышения φ. При установке значений углов возвышения φ пользуются шкалами прицельных углов, имеющимися на стебле прицела или дистанционном барабане.

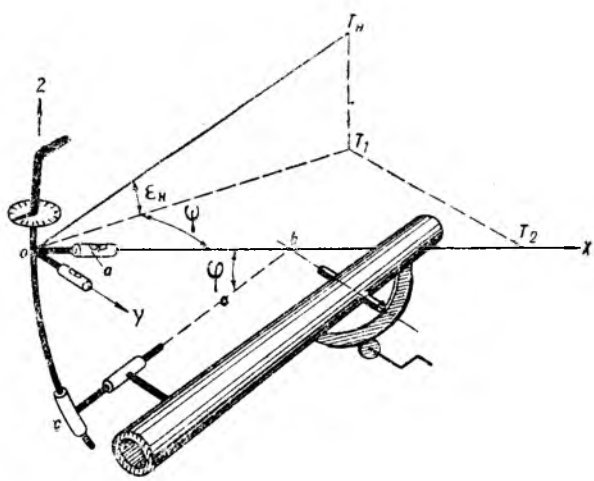


Рис. 565. Схема прицела для непрямой наводки

Путем поворота головной части панорамы вокруг оси ее корпуса линия прицеливания отклоняется в плоскости угломера панорамы на величину угла наводки ψ. При установке угла наводки ψ пользуются шкалой угломера панорамы. Для учета угла места точки наводки $\varepsilon_н$ отражатель панорамы делают качающимся. Предварительную установку численного значения угла места точки наводки $\varepsilon_н$ по шкалам отражателя панорамы не производят; этот угол устанавливается наводчиком в процессе визирования по точке наводки. Перед наводкой положение отражателя может быть произвольным; следовательно, линия прицеливания может составлять с плоскостью угломера панорамы любой угол в пределах работы отражателя панорамы.

После произведенных в прицеле установок воздействуют на механизмы наведения орудия. Вертикальную наводку при этом производят

действием на подъемный механизм лафета до приведения пузырька бокового уровня на середину.

Горизонтальную наводку орудия осуществляют при помощи поворотного механизма, причем добиваются совмещения линии прицеливания с линией наводки. Действием только поворотного механизма нельзя обеспечить совпадение линии прицеливания с линией наводки, поскольку линия прицеливания будет установлена под произвольным углом к плоскости угломера панорамы. Совмещения указанных линий достигают вращением отражателя панорамы.

Для правильной наводки необходимо, чтобы плоскость стебля прицела к концу наводки приняла вертикальное положение. В качающихся прицелах эту плоскость приводят в вертикальное положение с помощью поперечного уровня путем поворота прицела вокруг оси, параллельной оси канала ствола орудия. К концу наводки пузырьки обоих уровней должны стоять на середине. При некачающемся прицеле для обеспечения правильной наводки необходимо цапфы орудия приводить в горизонтальное положение.

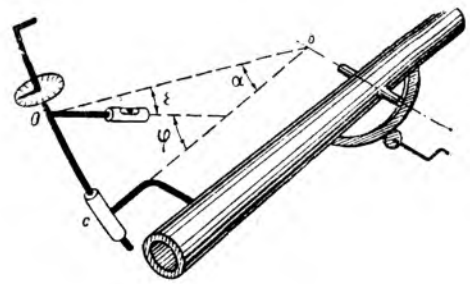


Рис. 566. Раздельная установка угла возвышения

Если при подготовке стрельбы определяют составляющие угла возвышения φ (углы α и ε), то выдвижением стебля прицела производят установку только величины прицельного угла α. Величину же угла места цели ε в дуговых прицелах устанавливают путем наклона бокового уровня относительно плоскости угломера панорамы. На рис. 566 прямая *Ob*, параллельная плоскости угломера панорамы, при выдвинутом стебле прицела образует с осью канала ствола (линией *bc*) прицельный угол α. Боковой уровень отклонен относительно плоскости угломера панорамы (прямой *Ob*) на величину угла места цели ε.

Нетрудно видеть, что при положении пузырька бокового уровня на середине прямая *cb* и, следовательно, ось канала ствола будут установлены по отношению к горизонту под углом φ, равным сумме углов α и ε.

6. Нормализованный прицел обр. 1930 г.

Дуговой стебель *1*, имеющий внутреннюю нарезку, помещен в коробке *2* (рис. 567). Со стеблем прицела сцеплена шестерня *3*, на одной оси с которой установлены барабан *4* и червячное колесо *5*. В коробке *2* помещен червяк *6* с маховичком *7*, сцепленный с червячным колесом *5*. Стебель прицела имеет корзинку *8*, в которой установлена панорама. На стебле прицела укреплены также поперечный уровень *9* и боковой уровень *10*. Боковой уровень имеет механизм, позволяющий устанавливать ось уровня под различными углами к плоскости угломера панорамы, и шкалу для отсчета этих углов, градуированную в тысячных делениях. Коробка прицела *2* скреплена с качающейся частью лафета при помощи кронштейна *11*. На цапфе коробки помещена червячная шестерня *12*, а в кронштейне *11* укреплен червяк *13* с маховичком *14*.

При прямой наводке прицельный угол α устанавливают помощью маховичка *7*, в результате чего стебель *1* перемещается по пазу коробки *2* и таким образом изменяется положение линии прицеливания по отношению к оси канала ствола орудия. Отсчет значений прицельных углов производят по дистанционным шкалам, нанесенным на барабане *4*. На барабане *4* наносят несколько дистанционных шкал, соответствующих принятым для данной системы снарядам или зарядам. На дистанционном барабане имеется также угловая шкала. Боковой прицельный угол δ_1 устанавливают по угломеру панорамы.

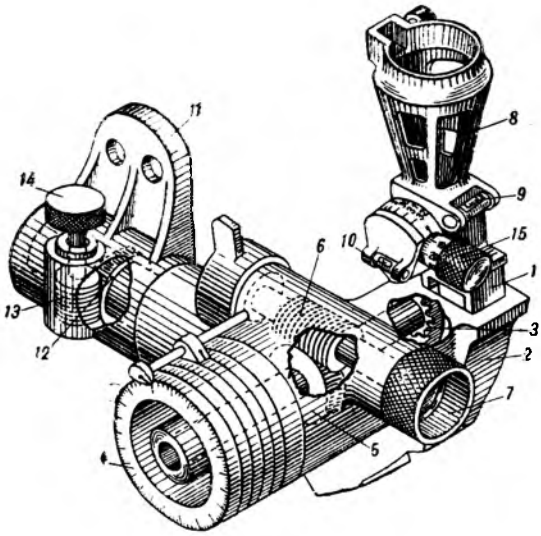


Рис. 567. Нормализованный прицел

При непрямой наводке прицельный угол α устанавливают также выдвижением стебля прицела по шкале дистанционного барабана; угол же места цели ε устанавливают по шкале бокового уровня при помощи маховичка *15*. Если по шкале дистанционного барабана производят установку угла возвышения φ, то по шкале бокового уровня должна быть произведена основная установка, равная 30-00. Угол наводки ψ устанавливают по угломеру панорамы так же, как и боковой прицельный угол при прямой наводке.

Вращением маховичка *14* осуществляют поперечное качание прицела. При наводке плоскость стебля прицела *1* приводят в вертикальное положение и этим самым исключают влияние наклона оси цапф орудия на наводку. Правильность установки стебля прицела в вертикальной плоскости контролируют поперечным уровнем *9*.

7. Артиллерийская панорама

Панорама представляет собой перископическую трубу, позволяющую производить круговой обзор местности (рис. 568 и 569). Корпус панорамы неподвижно крепят в корзинке прицельного приспособления; верхняя часть (головка панорамы) может вращаться относительно неподвижного корпуса.

Оптическая система панорамы состоит из плоского защитного стекла *1*, головной отражательной призмы *2*, призмы Дове *3*, объектива *4*, крышеобразной призмы *5*, пластинки с перекрестьем *6* и четырехлинзового окуляра *7*. Объектив *4*, крышеобразная призма *5*, пластинка *6* и окуляр *7* помещены в корпусе панорамы. Отражательная призма *2* и защитное стекло *1* установлены в верхней части панорамы.

Головную часть вращают при помощи маховичка *8*, червяка *16* и червячного колеса *17*; углы поворота отсчитывают по кольцу угломера *10* и по шкале на барабанчике маховичка *8*. Кольцо угломера имеет 60 делений; каждое деление кольца равно 100 „тысячным“, а барабанчика — 1 „тысячной“. Один оборот маховичка соответствует повороту головки панорамы на одно деление кольца угломера.

Головную часть панорамы можно поворачивать непосредственно от руки. В этом случае червяк *16* при помощи рычага-отводки *9* выводят из зацепления с червячной шестерней *17*. Поворотом верхней части панорамы устанавливают углы наводки или боковые прицельные углы.

Отражательная призма *2* помещена в оправе и может вращаться вокруг оси, перпендикулярной к оси корпуса панорамы. Поворот этой призмы осуществляют при помощи маховичка *11*, а отсчет углов производят по шкале *12* и шкале на маховичке. Поворотом призмы *2* изменяют положение линии визирования относительно плоскости угломера панорамы (при непрямой наводке). Пользуясь отражателем, можно также производить установку прицельного угла при прямой наводке в том случае, когда по шкале угломера произведена установка, близкая к 30-00.

Верхняя головная часть панорамы и нижняя неподвижная часть (корпус) имеют конические венцы *13* и *14*, а на оси обоймы призмы Дове *3* помещена шестерня-сателлит *15*. При повороте головки панорамы

поворачивается и призма Дове, но на угол, в два раза меньший угла поворота отражательной призмы *2*. Призма Дове исключает поворот изображения вокруг линии визирования при вращении отражателя панорамы. При отсутствии этой призмы круговой обзор местности сопровождался бы вращением изображения предмета вокруг линии визирования; например, при повороте верхней части на 90° вертикальные предметы наблюдались бы в горизонтальном положении.

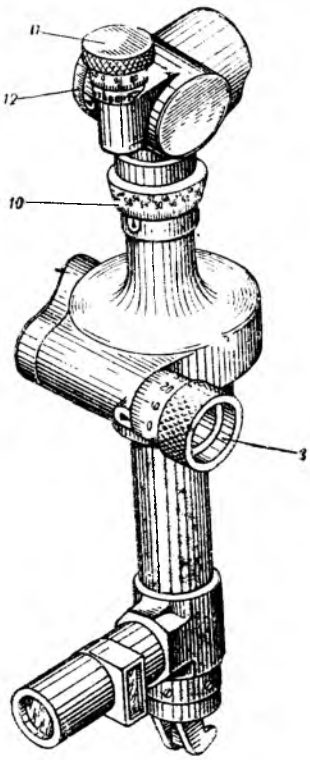


Рис. 568. Панорама

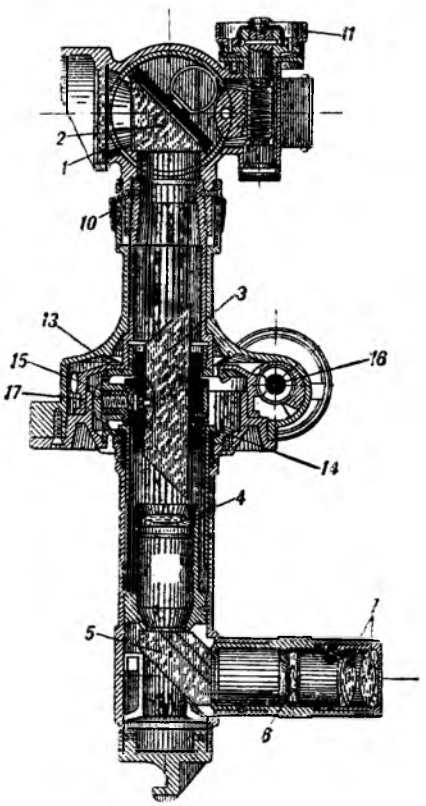


Рис. 569. Панорама

Панорама имеет следующие оптические характеристики: увеличение $4^{\times}$, поле зрения 10°, диаметр выходного зрачка 4 *мм*, удаление выходного зрачка от окуляра 19 *мм*.

8. Прицелы, автоматически учитывающие деривацию

При сокращенной подготовке стрельбы определение угла деривации δ по таблицам и его последующая установка по угломеру панорамы требуют дополнительной затраты времени и могут привести к снижению скорострельности орудия. Поэтому некоторые прицелы имеют такое устройство, при котором в процессе установки прицельного угла автоматически устанавливается и боковая поправка на деривацию. В таких прицелах поперечный уровень крепят на стебле прицела под углом, отличным от прямого. Поэтому по окончании наводки, т. е. после приведения пузырька поперечного уровня на середину, стебель прицела устанавливается в наклонной плоскости *Оцс* (рис. 570). В результате этого линия прицеливания при нулевой установке по шкале угломера панорамы отклоняется в боковом направлении на величину угла δ.

Обозначим угол между касательной *це*, проведенной через точку крепления поперечного уровня, и вертикалью через γ (рис. 571). Угол

между осью поперечного уровня и радиусом стебля равен 90°. Определим величину угла γ, а следовательно, и угла $(90° - \gamma)$ наклона поперечного уровня к плоскости стебля прицела.

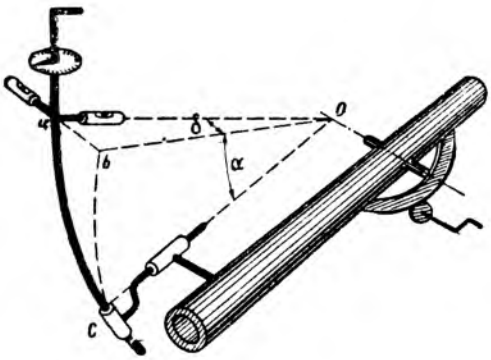


Рис. 570. Схема прицела, автоматически учитывающего деривацию

Из треугольника *цbe* имеем:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{цb}{be}.$$

Из треугольников *Оцb* и *Obe*:

$$цb = Ob \sin\delta;$$

$$be = Ob \operatorname{tg}\alpha.$$

Следовательно,

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{\sin\delta}{\operatorname{tg}\alpha}. \qquad (1)$$

По формуле (1) определяют угол наклона поперечного уровня к плоскости стебля прицела. Как видно, отношение $\frac{\sin\delta}{\operatorname{tg}\alpha}$ зависит от балистических данных снаряда и будет изменяться при переходе от одной дальности стрельбы к другой. Однако это отношение при этом изменяется в небольших пределах. Поэтому практически представляется возможным принять его равным постоянной величине и на этом основании крепить поперечный уровень под определенным углом γ к плоскости стебля прицела.

В качестве примера приведем прицел 76-*мм* полковой пушки обр. 1927 г. (рис. 572), автоматически учитывающий деривацию.

Принципиальная схема устройства этого прицела та же, что и нормализованного прицела обр. 1930 г. В отличие от нормализованного, в прицеле полковой пушки ось корзинки *1* панорамы установлена под углом 3° к плоско-

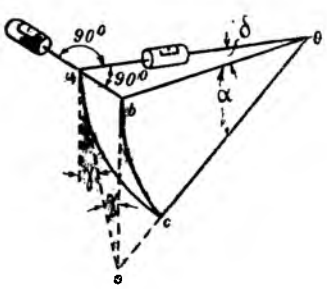


Рис. 571. Схема для определения угла γ

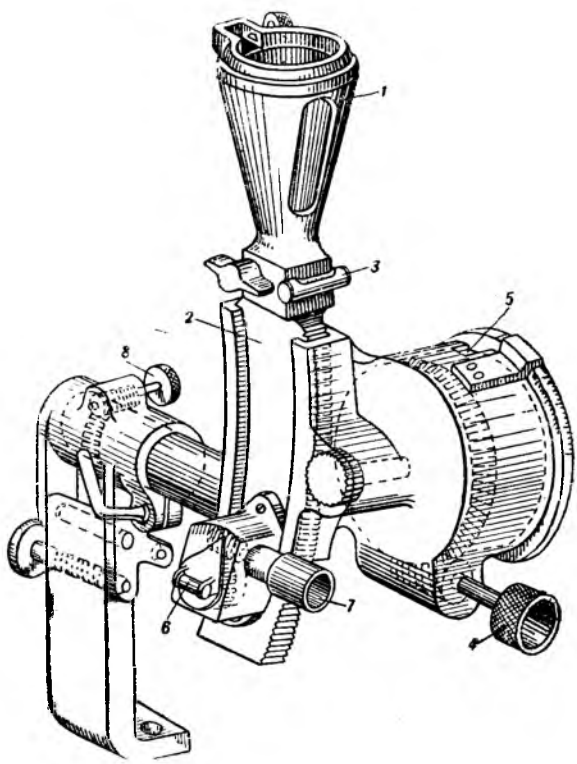


Рис. 572. Прицел 76-*мм* полковой пушки обр. 1927 г.

сти стебля *2*; поперечный же уровень *3* прикреплен на основании корзинки под прямым углом к ее оси. Таким образом, при нулевом показании поперечного уровня стебель прицела устанавливается в наклонной

плоскости, вследствие чего при выдвижении стебля *2* из коробки прицела устанавливается не только прицельный угол α, но и угол деривации δ.

Установку прицельных углов производят при помощи маховичка *4* по шкалам дистанционного барабана *5*. Угол места цели при непрямой наводке устанавливают по шкале бокового уровня *6* действием на маховичок *7*. Качание прицела до приведения пузырька поперечного уровня на середину осуществляют вращением маховичка *8*.

9. Шкалы прицельных приспособлений

Для установки требуемых значений прицельных углов в прицелах имеются шкалы, которые наносятся обычно на кольце или барабане, кинематически связанном со стеблем прицела. Имеются прицелы, у которых шкалы прицельных углов помещены внутри оптической части визира. Различают два вида шкал: дистанционные и угловые.

Деления дистанционной шкалы нарезают таким образом, что при изменении установки на одно деление дальность падения снаряда изменяется на одну и ту же величину ΔX. В современных прицелах войсковой артиллерии эта величина равна 50 *м*.

Дистанционные шкалы зависят от балистических свойств снаряда, а поэтому для каждой комбинации снаряда и заряда должна быть своя шкала. Наличие большого числа шкал считается существенным недостатком прицела, так как это может приводить к путанице и ошибкам. Дистанционные шкалы неудобны еще и потому, что нельзя сделать единый прицел для ряда различных систем. Основной же недостаток этих шкал заключается в том, что они не могут обслужить все разновидности зарядов и снарядов, принятых для данного орудия, а при введении нового образца снаряда имеющиеся шкалы не могут быть использованы. Поэтому в прицелах войсковой артиллерии, помимо дистанционных шкал, на дистанционном барабане обычно наносят и угловую шкалу „тысячных".

Угловая шкала имеет существенные преимущества по сравнению с дистанционными шкалами. Основное преимущество заключается в том, что такая шкала может быть использована для любых комбинаций зарядов и снарядов данной системы; эта шкала позволяет также иметь единый прицел для ряда различных систем орудий. Угловая шкала имеет равномерные деления, а поэтому она не вызывает никаких затруднений у стреляющего при назначении угла возвышения как суммы двух углов: угла места цели и угла прицеливания. При такой шкале облегчается также корректировка высоты разрывов снарядов. Однако при угловой шкале стреляющему необходимо пользоваться таблицами стрельбы, что является ее недостатком.

В этом отношении преимущества на стороне дистанционных шкал, которые исключают необходимость пользования таблицами, так как прицельный угол назначают в виде установки дальности, которая стреляющему известна. Поэтому, несмотря на достоинства угловой шкалы, при сокращенной подготовке стрельбы целесообразнее пользоваться дистанционными шкалами. Переход на угловую шкалу в этом случае может привести к понижению скорострельности орудия. Дистанционные шкалы также более удобны для ввода корректуры в дальности.

10. Влияние наклона плоскости угломера панорамы на наводку

Плоскостью угломера панорамы называют плоскость, в которой измеряются углы горизонтальной наводки; эта плоскость перпендикулярна к оси вращения головной части панорамы относительно неподвижного корпуса.

При прямой наводке угломер панорамы устанавливается в горизонтальной плоскости только при угле места цели ε, равном нулю. При

угле же места цели, отличном от нуля, угломер панорамы устанавливается в плоскости *ОЦВ* места цели и таким образом получает наклон к горизонту на угол ε_1, равный проекции угла места цели на плоскость выстрела (рис. 559). Следовательно, для обеспечения правильной наводки следует по угломеру панорамы устанавливать величину бокового прицельного угла δ_1. Обычно при подготовке стрельбы вычисляют, пользуясь таблицами стрельбы, величину горизонтального угла прицеливания δ.

Определим зависимость между углами δ_1 и δ, пользуясь рис. 559:

$$\sin\delta_1 = \frac{ЦВ}{ОЦ} = \frac{EF}{ОЦ} = \frac{OE\sin\delta}{ОЦ};$$

$$\sin\delta_1 = \sin\delta\cos\varepsilon. \qquad (2)$$

Из формулы (2) следует, что при малых значениях угла места цели ε, когда $\cos\varepsilon$ близок к единице, разницей в углах δ и δ_1 можно пренебречь и полученный при подготовке стрельбы угол δ устанавливать по шкале угломера панорамы. С сравнительно малыми углами места цели приходится иметь дело при стрельбе по наземным целям. Поэтому наклон угломера панорамы в этом случае не имеет существенного значения, так как ошибки от установки величины горизонтального угла прицеливания по наклонному лимбу угломера панорамы получаются небольшими.

При прямой наводке по зенитным целям, когда приходится иметь дело с большими значениями углов места цели, разницей в рассматриваемых углах пренебрегать нельзя.

Поэтому для зенитных орудий желательно иметь прицельное приспособление, у которого угломер панорамы устанавливается в горизонтальной плоскости при любом значении угла места цели. К типу таких прицелов относится прицельное приспособление для стрельбы по воздушным целям, принципиальная схема которого приведена на рис. 579.

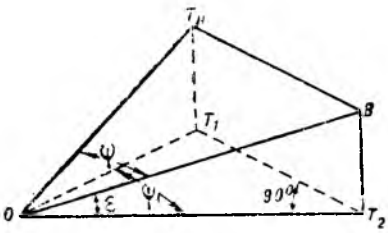


Рис. 573. Схема для нахождения зависимости между углами ψ и ψ_1

При непрямой наводке в процессе подготовки стрельбы определяют угол наводки ψ, расположенный в горизонтальной плоскости (рис. 561). Этот угол и устанавливают по угломеру панорамы. Однако угломер панорамы располагается к концу наводки в горизонтальной плоскости только при нулевой установке по шкале бокового уровня (рис. 565). В случае же раздельной установки угла возвышения φ, когда угол места цели ε устанавливают по шкале бокового уровня, плоскость угломера панорамы получает наклон к горизонту на угол ε так же, как и при прямой наводке (рис. 566).

Таким образом, производя установку угла наводки ψ по шкале угломера панорамы, будем допускать ошибки в боковом направлении. Выведем формулу для подсчета указанных ошибок. Остановимся на наиболее простом случае, когда точка наводки *Тн* лежит в плоскости угломера панорамы. Это будет иметь место тогда, когда к концу наводки отражатель установлен на нуль.

Если по угломеру панорамы установить угол ψ, то угол наводки ψ_1, фактически приданный орудию, будет равен проекции угла ψ на горизонт (рис. 573). Величина угла ψ_1 найдется по формуле

$$\operatorname{tg}\psi_1 = \frac{T_1T_2}{OT_2} = \frac{TнB}{OT_2} = \frac{OB}{OT_2}\operatorname{tg}\psi;$$

$$\operatorname{tg}\psi_1 = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\cos\varepsilon}. \qquad (3)$$

Ошибка в боковом направлении будет равна:

$$\Delta\psi = \psi_1 - \psi.$$

Выражение для подсчета ошибки $\Delta\psi$ может быть написано в виде

$$\operatorname{tg}\psi_1 - \operatorname{tg}\psi = \frac{\operatorname{tg}\psi}{\cos\varepsilon} - \operatorname{tg}\psi;$$

$$\Delta(\operatorname{tg}\psi) = \operatorname{tg}\psi\left(\frac{1}{\cos\varepsilon} - 1\right).$$

Заменим приращение $\operatorname{tg}\psi$ диференциалом, а затем перейдем к ошибке $\Delta\psi$.

$$\frac{\Delta\psi}{\cos^2\psi} = \operatorname{tg}\psi\left(\frac{1}{\cos\varepsilon} - 1\right);$$

$$\Delta\psi = \frac{1}{2}\sin 2\psi\left(\frac{1}{\cos\varepsilon} - 1\right). \qquad (4)$$

Пример. $\psi = 45°$; $\varepsilon = 10°$.

$$\Delta\psi = \frac{1}{2}\left(\frac{1}{0{,}985} - 1\right) \approx 8 \text{ „тысячных“}.$$

Из формулы (4) следует, что при ψ, равном 0°, или 180°, или $\pm 90°$, ошибка $\Delta\psi$ от наклона угломера панорамы будет равна нулю. Это обстоятельство следует учитывать при выборе точек наводки. Если по условиям стрельбы представляется возможным, то целесообразно пользоваться точками наводки, расположенными в направлении стрельбы или по фронту.

При непрямой наводке ошибка от наклона угломера панорамы приобретает наибольшее значение при угле наводки $\psi = 45° + n\frac{\pi}{2}$, где n — целое число. Ошибки от наклона угломера становятся ощутимыми при углах места цели порядка 6° и резко возрастают с увеличением этого угла. Поэтому для непрямой наводки большую ценность представляют прицелы с горизонтальным столом панорамы. Такими прицелами являются прицел фирмы Рейнметалл (рис. 577) и пулеметный прицел обр. 1930 г. (рис. 581).

11. Влияние наклона оси цапф на наводку

При наводке орудия следует следить за тем, чтобы плоскость прицельного угла к концу наводки приняла вертикальное положение. Качающиеся прицелы позволяют приводить указанную плоскость в вертикальное положение, независимо от положения оси цапф орудия. Однако качающиеся прицелы разрабатываются только для систем наземной артиллерии. В системе современного артиллерийского вооружения находят довольно широкое применение и некачающиеся прицелы (например пулеметные и винтовочные прицелы, предназначенные для наземной стрельбы). Зенитные, танковые и авиационные прицелы также не позволяют учитывать влияния наклона оси цапф, так как в своей основе разрабатываются по типу некачающихся прицелов. Такое устройство указанных прицелов объясняется требованием простоты конструкции и удобств эксплоатации их в боевых условиях.

Некачающиеся прицелы позволяют производить установку прицельного угла только в плоскости, параллельной продольной плоскости симметрии орудия. Следовательно, орудие будет правильно наведено только тогда, когда ось цапф орудия будет расположена в горизонтальной плоскости. В случае же наклона оси цапф плоскость прицельного угла не будет совпадать с вертикальной плоскостью, вследствие чего будут иметь место ошибки как в угле возвышения, так и в боковом направле-

нии. Найдем выражения для подсчета этих ошибок при прямой наводке орудия. Рассмотрим частный случай, когда угол места цели ε и боковой угол прицеливания δ равны нулю.

Представим себе (рис. 574) в точке $Ц$ цель, в соответствии с которой оси канала ствола придано положение OC, при этом цапфы орудия расположились в горизонтальной плоскости Q. Положение линии выстрела OC относительно линии цели $OЦ$ определяется углом прицеливания α, расположенным в вертикальной плоскости $OCЦ$.

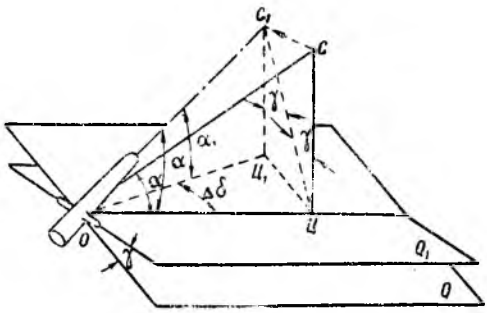


Рис. 574. Схема наводки при наклоне оси цапф орудия

Допустим, что после осуществленной таким образом наводки ось цапф наклонилась по отношению к горизонту, при этом линия прицеливания сошла с линии цели. Далее действием подъемного и поворотного механизмов орудия линию прицеливания опять совместим с линией цели $OЦ$, т. е. воспроизведем наводку снова. В таком случае по окончании наводки ось цапф установится в наклонной плоскости Q_1 под углом γ к плоскости Q, а ось канала ствола из положения OC перейдет в положение OC_1.

Проведем через линию возвышения OC_1 вертикальную плоскость $OC_1Ц_1$, которая пересечется с горизонтальной плоскостью Q по линии $OЦ_1$. Как видно, при наличии наклона оси цапф орудию будет придан угол прицеливания α_1, несмотря на то что по шкале прицела установлен прицельный угол α. Кроме этого, появляется ошибка $\Delta\delta$ в боковом направлении (рис. 574).

Определим значения углов α_1 и $\Delta\delta$. Положим $OC = OC_1 = 1$. Будем иметь:

$$\sin\alpha_1 = C_1Ц_1 = C_1Ц\ \cos\gamma = CЦ\ \cos\gamma;$$

$$\sin\alpha_1 = \sin\alpha\ \cos\gamma. \tag{5}$$

Ошибка в угле прицеливания будет равна:

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_1.$$

Представим выражение для подсчета ошибок $\Delta\alpha$ в следующем виде:

$$\sin\alpha - \sin\alpha_1 = \sin\alpha - \sin\alpha\ \cos\gamma;$$

$$\Delta(\sin\alpha) = \sin\alpha(1 - \cos\gamma).$$

Заменим приращение $\sin\alpha$ дифференциалом, а затем перейдем к ошибке $\Delta\alpha$.

$$\cos\alpha \cdot d\alpha = \sin\alpha(1 - \cos\gamma);$$

$$\Delta\alpha = \operatorname{tg}\alpha(1 - \cos\gamma). \tag{6}$$

Из треугольника $OЦЦ_1$ имеем:

$$\operatorname{tg}(\Delta\delta) = \frac{ЦЦ_1}{OЦ};$$

но

$$ЦЦ_1 = C_1Ц\ \sin\gamma = CЦ\ \sin\gamma;$$

имея это в виду и заменяя значение $\operatorname{tg}(\Delta\delta)$ величиной угла $\Delta\delta$, получим:

$$\Delta\delta = \operatorname{tg}\alpha\ \sin\gamma. \tag{7}$$

Пользуясь формулами (6) и (7), можно произвести подсчет ошибок от наклона оси цапф.

Пример. $\alpha = 10°$; $\gamma = 5°$.

По формуле (6): $\Delta\alpha = 0{,}176\,(1—0{,}996) = 0{,}7$ „тысячной".

По формуле (7): $\Delta\delta = 0{,}176 \cdot 0{,}0872 = 15$ „тысячных".

Из приведенного примера следует, что при стрельбе с некачающимся прицелом превалирующее значение имеют ошибки $\Delta\delta$ в боковом направлении, которые могут существенно ухудшить результаты стрельбы, несмотря на правильную установку прицельного угла по шкале прицела. Поэтому автоматический учет наклона оси цапф за счет устройства качающегося прицела или иными средствами является крайне желательным.

12. Прицельные приспособления с независимой линией прицеливания

При наводке орудия необходимо, во-первых, производить установки по шкалам прицела и, во-вторых, действовать на подъемный и поворотный механизмы системы до совмещения линии прицеливания с линией цели или линией наводки. Нормализованный прицел обр. 1930 г., а также прицел полковой пушки обр. 1927 г. позволяют выполнять указанные операции последовательно одну за другой; при этом изменение установки по шкалам дистанционного барабана приводит к перемещению линии прицеливания. Таким образом, при наводке с указанными прицелами после изменения установки прицельного угла следует производить визирование по цели или точке наводки даже тогда, когда положение этих точек остается неизменным. Такое свойство прицелов вызывает неудобства в тех случаях, когда по условиям стрельбы требуется частое изменение установок прицельного угла. Эти неудобства устранены в так называемых прицельных приспособлениях с независимой линией прицеливания. Особенностью таких прицелов является то, что при изменении установки прицельного угла ствол приходит в движение, при этом визирное приспособление прицела остается неподвижным, а следовательно, линия прицеливания не смещается с линии цели или линии наводки.

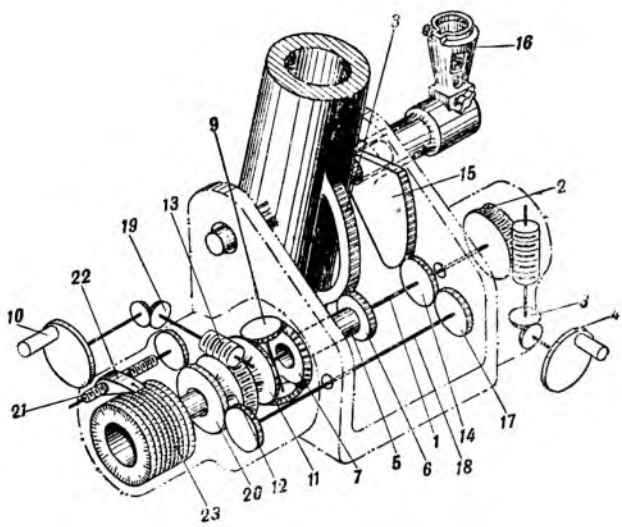


Рис. 575. Прицельное приспособление 76-*мм* зенитной пушки обр. 1915 г.

Прицельное приспособление с независимой линией прицеливания имеет зенитная пушка обр. 1915 г. (рис. 575). Механизм вертикального наведения в этой системе имеет два привода, один из которых служит для сообщения орудию углов места цели и второй — для придания углов прицеливания. Оба привода действуют на зубчатый сектор люльки через дифференциал, который и позволяет придавать орудию угол возвышения, равный сумме указанных выше углов. Ось *1* при помощи червячного колеса *2* и пары конических шестерен *3* соединена с маховиком *4*. На этой оси свободно посажен вал *5* с двумя шестернями *6* и *7*, одна из которых сцепляется с сектором люльки *8* и вторая — с сателлитами *9* дифференциала. С сателлитами сцеплена вторая коническая шестерня *11*, помещенная на одном валу с червячной шестерней *12* и дистанционным бара-

баном *23*. С шестерней *12* при помощи червяка *13* и пары конических шестерен *19* соединен вал с маховиком *10*. На цилиндрической поверхности барабана *23* нанесено восемь дистанционных шкал, отвечающих углам места цели 0°, 10°... 70°, а на торцовой его поверхности — шкала „тысячных".

На оси *1* помещена шестерня *14*, сцепленная с сектором *15*, укрепленным на кронштейне корзинки *16* панорамы. С осью *1* через шестерни *14* и *17*, валик *18*, шестерни *20* и винт *21* связан указатель *22*.

При прямой наводке угол места цели придают орудию действием на маховичок *4* до тех пор, пока перекрестье панорамы не совпадет с целью. При указанном действии сателлиты *9* поворачивают шестерню *7* с валом *5* и шестерней *6*, которая в свою очередь поворачивает орудие на величину угла места цели.

При непрямой наводке угол места цели может быть предварительно установлен по шкале бокового уровня, который укреплен на корзинке панорамы, а маховичок *4* вращают до приведения пузырька уровня на середину.

При вращении маховичка *4* вращаются также шестерня *17*, валик *18*, шестерни *20* и винт *21*. В результате указатель *22* перемещается вдоль барабана *23* и устанавливается против той шкалы дистанционного барабана, которая отвечает приданному углу места цели.

Угол прицеливания придается орудию вторым наводчиком, который действует на маховичок *10*. При вращении этого маховичка ось сателлитов *9* диференциала и ось *1* остаются неподвижными, а вращается только шестерня *7* с валом *5* и шестерней *6*. В результате ствол повернется вокруг оси цапф на величину угла прицеливания. При вращении маховичка *10* вращается и дистанционный барабан *23*, по шкалам которого производится установка прицельного угла. Как видно, при изменении установки прицельного угла действием на маховичок *10* ось *1*, шестерня *14* и сектор *15* с корзинкой *16* панорамы остаются неподвижными, т. е. при указанном действии линия прицеливания сохраняет свое положение в пространстве.

Таким образом, прицелы с независимой линией прицеливания позволяют изменять величину прицельного угла вплоть до самого производства выстрела. Это обстоятельство приобретает важное значение при стрельбе по зенитным целям, когда дальность и угол места цели, а следовательно, и угол прицеливания быстро изменяются по величине. Так как изменение прицельного угла не приводит к нарушению положения линии прицеливания, то наводчик не будет терять цель. Вследствие этого при стрельбе по движущимся целям представляется возможным непрерывно следить линией прицеливания за целью, что обеспечивает готовность орудия к открытию огня в любой момент наводки.

Прицелы с независимой линией прицеливания дают возможность использовать одновременно двух наводчиков, что ускоряет процесс наводки и повышает скорострельность орудия. Повышение скорострельности орудия достигается также тем, что такие прицелы позволяют начинать визирование тотчас, как только указана цель или точка наводки. Следовательно, прицелы с независимой линией прицеливания целесообразно иметь не только для зенитных орудий, но и для систем наземной артиллерии. Особую ценность такие прицелы представляют при стрельбе по быстродвижущимся целям, когда требуется возможно бо́льшая скорострельность.

13. Прицелы не зависимые от орудия

Прицельные приспособления с зависимой линией прицеливания (нормализованный прицел обр. 1930 г.) имеют тот недостаток, что наводчик загружен работой на двух силовых механизмах: подъемном и поворотном. Кроме этого, на наводчика возложены обязанности по производству всех установок по шкалам прицела. Ввиду такой загрузки он не в состоянии

обеспечить требуемую скорострельность орудия, особенно при стрельбе по быстродвижущимся наземным и воздушным целям. Прицельные приспособления с независимой линией прицеливания позволяют ускорить процесс наводки и повысить скорострельность орудия. Однако и эти прицелы в недостаточной степени разгружают наводчика, визирующего на цель, так как ему приходится управлять двумя силовыми механизмами: поворотным и механизмом углов места цели. В прицелах не зависимых от орудия наводчик, визирующий на цель или точку наводки, совершенно разгружен от работы на подъемном механизме орудия и управляет только одним поворотным механизмом.

Принципиальная схема прицела не зависимого от орудия приведена на рис. 576. Коробка *1* прицела соединяется с неподвижной частью лафета при помощи винта *2*, шарнирно укрепленного на коробке прицела и лафете. На коробке прицела укреплена корзинка, в которой установлена панорама *3*. На корзинке панорамы укреплен боковой уровень *4* и поперечный *8*. Внутри коробки помещено червячное колесо *5*, которое соединено с осью *13* через посредство двух диаметрально расположенных цапф *11*. На оси *13* укреплена прицельная стрелка *6*.

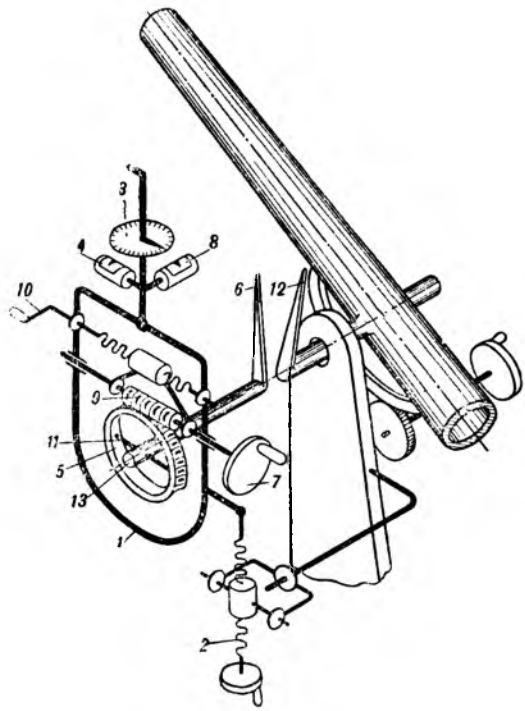


Рис. 576. Схема прицела не зависимого от орудия

Установку прицельного угла производят вращением маховичка *7*, в результате чего шестерня *5* со стрелкой *6* поворачивается относительно своего нулевого положения на угол, равный углу прицеливания α. Угол места цели ε при непрямой наводке устанавливают вращением маховичка *10*. При вращении этого маховичка червяк *9* получает поступательное перемещение вдоль своей оси и, играя роль рейки по отношению к червячному колесу *5*, повернет последнее вместе со стрелкой *6* на угол, равный углу места цели. Если перед наводкой действием винта *2* пузырек бокового уровня *4* привести на середину, то после произведенных установок прицельная стрелка *6* отклонится относительно своего нулевого положения на угол φ, равный сумме углов α и ε.

При прямой наводке угол места цели ε сообщается прицелу вращением винта *2* до совмещения перекрестья панорамы с целью. При указанном действии весь прицел с червячным колесом *5*, цапфой *11* и прицельной стрелкой *6* повернется так, что к концу наводки прицельная стрелка установится также под углом φ, равным сумме углов α и ε.

Рассмотренные действия выполняются наводчиком, визирующим по цели или точке наводки; качающаяся часть орудия при этом может занимать любое произвольное положение в вертикальной плоскости. В распоряжении наводчика имеется также поворотный механизм лафета, при помощи которого он осуществляет горизонтальную наводку орудия. Вертикальная наводка, т. е. придание орудию требуемого угла возвышения φ, выполняется вторым наводчиком, который действует на подъемный механизм до совмещения орудийной стрелки *12* с прицельной стрелкой *6*.

Цапфы *11* устанавливаются под углом возвышения φ к горизонту. По окончании наводки, т. е. после совмещения стрелок *6* и *12*, ось канала

ствола и ось цапф *11* будут параллельны между собой. Поворотом прицела вокруг оси цапф *11*, параллельной оси канала ствола, плоскость червячного колеса *5* приводится в вертикальное положение, и тем самым исключается влияние на наводку наклона оси цапф орудия. Поперечное качание прицела вокруг цапф *11* производится до приведения пузырька поперечного уровня *8* на середину. Такой прицел имеет независимую линию прицеливания, так как при изменении установки прицельного угла действием на маховичок *7* корпус прицела вместе с панорамой, а следовательно, и линия прицеливания не изменяют своего положения.

Общий вид прицела, в основу устройства которого принята рассмотренная схема, показан на рис. 577. Прицельные углы в этом прицеле устанавливают вращением маховичка *1*, при этом поворачиваются вал *2* с червяком *3*, цилиндр *4* с кронштейном *5* и прицельной стрелкой *6*, которая отклоняется относительно своего нулевого положения на величину угла прицеливания. Отсчет значений прицельных углов производят по шкале дистанционного барабана *7*, который получает вращение от винтовой шестерни *8*, установленной на валу *2*.

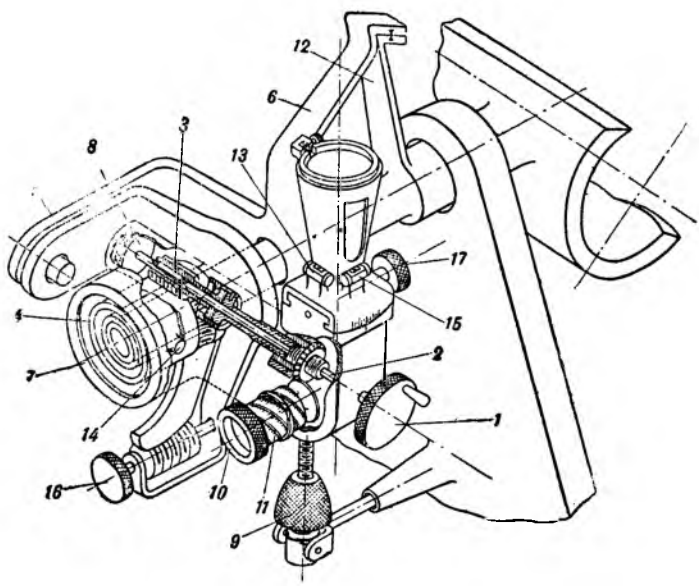


Рис. 577. Прицел не зависимый от орудия

Углы места цели при прямой наводке придаются прицелу вращением гайки *9* до совмещения перекрестья панорамы с целью. При вращении этой гайки весь прицел вместе с прицельной стрелкой поворачивается на величину угла места цели. Установка угла места цели при непрямой наводке осуществляется вращением маховичка *10* до совмещения указателя с соответствующим делением шкалы на барабане *11*. При вращении маховичка *10* червяк *3* перемещается вдоль своей оси и, играя роль рейки, поворачивает цилиндр *4*, а следовательно, и прицельную стрелку *6* на величину угла места цели. В результате стрелка *6* повернется относительно своего нулевого положения на угол, равный углу возвышения.

Придание этого угла орудию производит второй наводчик, который действует на подъемный механизм до совмещения орудийной стрелки *12* с прицельной *6*.

При непрямой наводке гайка *9* с винтом служит для горизонтирования прицела по боковому уровню *13*. При установке угла места цели маховичком *10* коробка прицела с панорамой не изменяет своего положения. Следовательно, при непрямой наводке угломер панорамы будет оставаться в горизонтальной плоскости независимо от величины установленного угла места цели.

При прямой наводке угломер панорамы будет принимать наклонное положение, поскольку угол места цели устанавливается при помощи гайки *9* путем наклона всего прицела вместе с панорамой.

Влияние наклона оси цапфы устраняется путем качания прицела вокруг оси *14* до приведения пузырька поперечного уровня *15* на середину. Для этой цели служит маховичок *16*.

Корзинка панорамы установлена в направляющих так, что панорама с поперечным уровнем может быть наклонена по отношению к корпусу прицела, а следовательно, и по отношению к оси цилиндра *4*. Изменение угла наклона поперечного уровня осуществляют действием на маховичок *17*. Такое устройство предназначено для учета деривации.

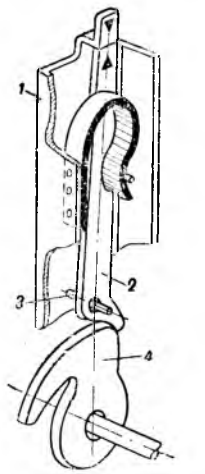


Рис. 578. Механизм для повышения чувствительности стрелок

В прицелах не зависимых от орудия для обеспечения надлежащей точности наводки следует принимать стрелки больших размеров, что является крайне нежелательным. Поэтому прибегают к устройству специальных механизмов, повышающих чувствительность стрелок. Схема такого механизма показана на рис. 578. Орудийная стрелка *2* не связана непосредственно с качающейся частью системы, а установлена на оси *3* внутри прицельной стрелки *1*. С качающейся же частью орудия связан сектор *4*, который свободно сидит на оси прицела. Указатели орудийной и прицельной стрелок будут совмещены только тогда, когда оси ствола будет придан требуемый угол возвышения, установленный предварительно при помощи прицела. В этом случае короткий рабочий конец орудийной стрелки будет находиться на концевой фаске сектора *4*, как изображено на рис. 578. В противном случае конец стрелки *2* будет находиться или на поверхности сектора *4*, а указатель этой стрелки — в левом крайнем положении, или же указанная стрелка под действием пружины будет занимать правое крайнее положение. В обоих случаях указатели стрелок не будут совпадать.

Прицелы не зависимые от орудия позволяют приводить орудие в удобное для заряжания положение и тем самым обеспечивают одновременное производство заряжания и наводки. Указанное обстоятельство является весьма важным для орудий крупного калибра, которые обычно для выполнения заряжания приводятся к определенному углу возвышения. Поэтому такие прицелы в своем первоначальном развитии и предназначались для орудий крупного калибра. Примером может служить прицельное приспособление 254-*мм* береговой пушки.

14. Прицельное приспособление для стрельбы по воздушным целям

На рис. 579 приведена схема не зависимого от орудия прицельного приспособления, предназначенного для стрельбы по воздушным целям. Прямая наводка орудия с этим прицелом производится действием на поворотный механизм лафета и маховичок *1*. При действии на маховичок *1* приходит во вращение червяк *2*, который поворачивает червячный сектор *3* с кронштейном визира *4*. На поворотный механизм орудия и маховичок *1* действуют до тех пор, пока линия прицеливания не совместится с линией цели.

На одном валу с червяком *2* установлен второй червяк *5*, сцепленный с червячным сектором *6*. Таким образом, при действии на маховичок *1* вращается вал *7* вместе с прицельной стрелкой *8*, которая отклоняется относительно своего нулевого положения на величину угла места цели.

Прицельный угол устанавливают при помощи маховичка *9* до совмещения указателя с требуемым делением шкалы на барабане *10*. При вра-

щении маховичка *9* вращается червячный сектор *11* с левой частью вала *7*, на котором укреплена прицельная стрелка *8*. В результате прицельная стрелка отклоняется на величину угла прицеливания.

Вращением маховичка *12* устанавливают углы вертикального упреждения, отсчет значений которых производится по шкале барабана *13*. При повороте маховичка *12* вращается вокруг вала *7* сектор *14* вместе с прицельной стрелкой *8*, которая поворачивается относительно вала на величину угла вертикального упреждения. В результате рассмотренных действий прицельная стрелка *8* отклонится относительно своего нулевого положения на угол, равный углу возвышения. Этот угол будет отвечать упрежденной точке и по своей величине равен алгебраической сумме углов прицеливания, места цели и вертикального упреждения. Угол возвышения придают орудию действием на подъемный механизм лафета до совмещения орудийной стрелки *15* с прицельной стрелкой *8*. Углы бокового упреждения устанавливают по шкале барабана *16* при помощи маховичка *17*, в результате чего происходит поворот трубы *18* вместе с визиром *4*.

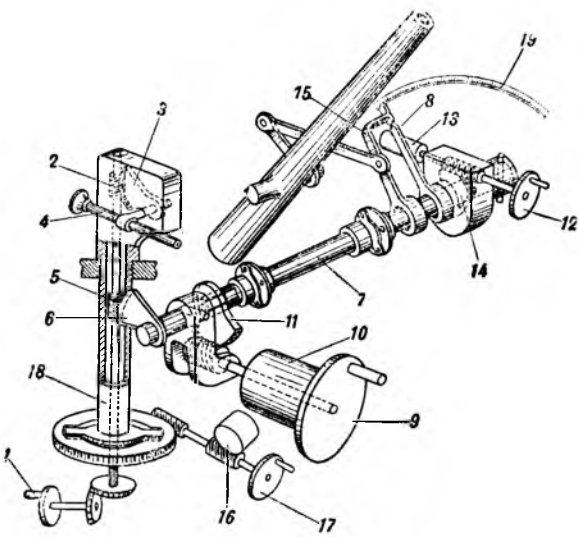


Рис. 579. Прицельное приспособление для стрельбы по воздушным целям

Таким образом, боковые упреждения или боковые прицельные углы устанавливают путем поворота визира вокруг вертикальной оси. Следовательно, данное прицельное приспособление относится к типу прицелов с горизонтальным столом угломера панорамы.

При полупрямой наводке угол возвышения придают орудию действием на подъемный механизм до совмещения указателя орудийной стрелки *15* с соответствующим делением шкалы на дуге *19*. Горизонтальная наводка в этом случае выполняется также визированием по цели при действии на поворотный механизм лафета и маховичок *1*.

При непрямой наводке поворотным механизмом действуют до тех пор, пока указатель на вертлюге лафета не совместится с требуемым делением шкалы угломера, укрепленного на тумбе лафета (на схеме не показан).

При наводке с данным прицелом обязанности между наводчиками распределяют следующим образом.

Первый наводчик действует маховичком поворотного механизма и маховичком *1* привода углов места цели, добиваясь совмещения перекрестья визира с целью. При непрямой наводке он следит за совмещением указателя на вертлюге лафета с соответствующим делением шкалы угломера.

Второй номер устанавливает по шкалам величины углов прицеливания и бокового упреждения, пользуясь маховичками *9* и *17*. При полупрямой наводке он производит установку только углов бокового упреждения.

Третий номер устанавливает углы вертикального упреждения по шкале барабана *13* и, действуя на подъемный механизм орудия, совмещает орудийную стрелку с прицельной. При непрямой или полупрямой наводке он придает орудию угол возвышения, пользуясь шкалой дуги *19*.

Рассмотренное прицельное приспособление имеет независимую линию прицеливания, так как изменение установок прицельного угла или угла вертикального упреждения не приводит к смещению линии прицеливания с линии цели.

15. Оптические прицелы станковых пулеметов

Оптические прицелы станковых пулеметов предназначаются для наводки пулемета при стрельбе как прямой, так и непрямой наводкой. В отличие от прицелов наземной артиллерии, к пулеметным прицелам предъявляются более жесткие требования в отношении веса, особенно в том случае, когда они крепятся непосредственно к стенкам короба пулемета. В пулеметных прицелах не предусматривается приспособлений для учета наклона оси цапф, т. е. пулеметные прицелы относятся к типу некачающихся. Ограничение веса и габарита прицела не позволяет также пользоваться и обычной артиллерийской панорамой. К пулеметным прицелам разрабатываются или особые упрощенные панорамы или специальные оптические монокулярные визиры. Поэтому прицелы станковых пулеметов и делятся на панорамные и непанорамные.

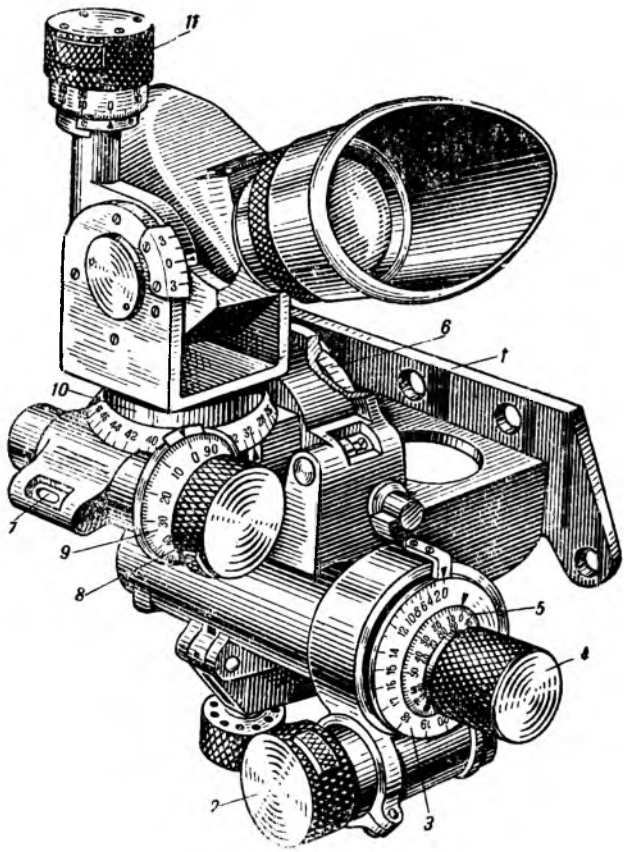


Рис. 580. Пулеметный прицел фирмы Цейс

В непанорамных прицелах при установке угла наводки вся оптическая часть вместе с окуляром поворачивается относительно плоскости стрельбы. Следовательно, при стрельбе с таким прицелом наводчик должен занимать различные положения по отношению к пулемету, что является крайне неудобным, так как он должен держать руками рукоятки пулемета. Непанорамный прицел крайне ограничивает выбор точек наводки; так например, точками наводки, расположенными сзади пулемета, пользоваться совсем нельзя.

При непрямой наводке пулемета панорамные прицелы имеют несомненное преимущество, так как окуляр таких прицелов занимает вполне определенное положение при любом угле наводки. Панорамный прицел позволяет пользоваться любой точкой наводки независимо от ее положения по отношению к пулемету.

Общий вид непанорамного пулеметного прицела фирмы Цейс показан на рис. 580. Этот прицел устанавливают на кронштейне *1*, укрепленном на левой стороне короба пулемета.

Углы места цели ε при непрямой наводке устанавливают при помощи маховичка *4* по шкалам *5* и *6*. Тысячные деления нанесены на кольце *5* и стотысячные — на диске *6*. При вращении маховичка *4* оптический визир вместе с боковым уровнем *7* поворачивается вокруг горизонтальной оси на величину угла места цели.

Прицельный угол α устанавливают вращением маховичка *2* по шкале *3*; при этом происходит дополнительный поворот визира и бокового уровня на величину этого угла. В результате ось бокового уровня отклоняется относительно своего нулевого положения на величину угла возвышения φ.

Этот угол придается пулемету действием механизма вертикального наведения до приведения пузырька бокового уровня *7* на середину.

Угол наводки и боковой прицельный угол устанавливают маховичком *8* по шкалам на кольцах маховичка *9* и угломера *10*. Совмещения перекрестья визира с точкой наводки достигают при помощи маховичка отражателя *11*. При прямой наводке угол места цели учитывается в процессе наводки путем совмещения перекрестья прицела с целью; по окончании наводки угломер прицела устанавливается в наклонной плоскости.

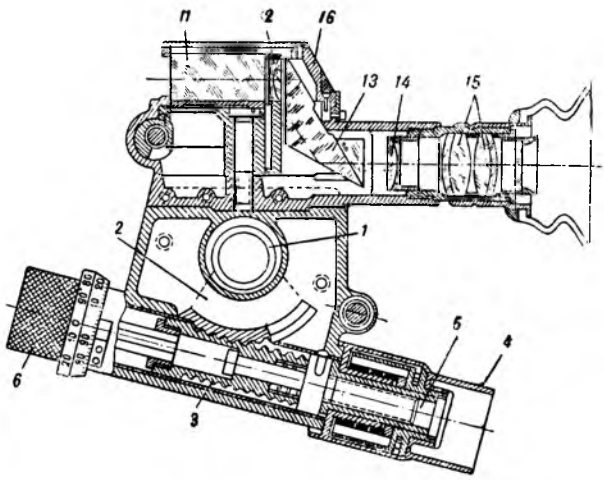


Рис. 581. Пулеметный прицел обр. 1930 г.

При непрямой наводке угломер *10* независимо от величины установленного угла места цели располагается в горизонтальной плоскости. Прицел имеет следующие оптические характеристики: увеличение — 5, поле зрения 10°, диаметр выходного зрачка — 5 *мм*.

На рис. 581 показан панорамный пулеметный прицел обр. 1930 г., который крепится с левой стороны пулемета на специальном кронштейне, укрепленном на вертлюге станка (рис. 582). Весь прицел (рис. 581) смонтирован на трубчатой оси *1*, при помощи которой он крепится к кронштейну пулемета. На оси *1* укреплен червячный сектор *2*, сцепленный с червяком *3*.

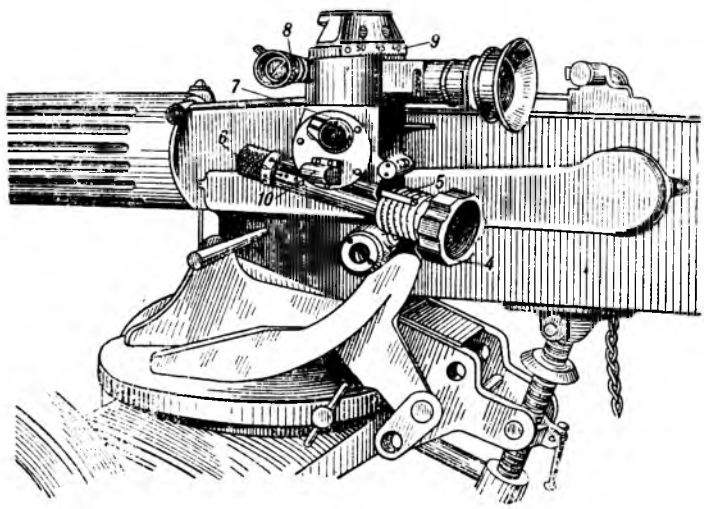


Рис. 582. Крепление прицела на станке пулемета

Установку прицельных углов производят вращением маховичка *4* по шкалам дистанционного барабана *5*, на котором нанесены две шкалы для легкой и тяжелой пули. При вращении маховичка *4* червяк *3* перемещается вдоль своей оси и, играя роль рейки, поворачивает весь корпус прицела с панорамой и боковым уровнем *10* вокруг оси *1* на величину угла прицеливания.

Угол места цели при непрямой наводке устанавливают маховичком *6* по шкалам на кольце этого маховичка и кольце *7*. При повороте махо-

вичка *6* поворачивается корпус прицела с панорамой и боковым уровнем. После произведенных установок значений углов α и ε ось бокового уровня отклонится относительно своего нулевого положения на величину угла возвышения φ. Придание этого угла пулемету производят действием механизмов грубой и тонкой наводки до приведения пузырька бокового уровня на середину. При прямой наводке угол места цели учитывают в процессе прицеливания вращением пулемета, а следовательно, и прицела до совмещения перекрестья панорамы с целью.

Углы наводки и боковые прицельные углы устанавливают поворотом головки панорамы при помощи маховичка *8*. Указанные углы отсчитывают по угломерному кольцу *9* и по шкале барабанчика *8*.

При непрямой наводке угол возвышения придают пулемету по боковому уровню *10*, который неподвижно укреплен на корпусе прицела. Поэтому при непрямой наводке угломер панорамы устанавливается в горизонтальной плоскости независимо от величины угла места цели, установленного маховичком *6*. При прямой наводке угол места устанавливают путем наклона на этот угол всего прицела. Следовательно, по окончании наводки в этом случае угломер панорамы принимает наклонное положение.

Оптическая часть прицела представляет собой панораму упрощенного типа, которая обеспечивает обзор по горизонту в пределах 240°. Она состоит из призмы-куба *11*, объектива *12*, оборачивающей призмы *13* с клином, конденсора *14* и окуляра *15*.

Призма *11* поворачивает изображение предмета вокруг вертикальной оси, а призма *13* — вокруг горизонтальной оси. Кроме этого, поворот изображения происходит при прохождении лучей через объектив *12*. Таким образом, изображение предмета в фокальной плоскости объектива будет прямое и действительное. На плоской стороне конденсора *14* нанесена сетка, которой и пользуются при визировании в цель или точку наводки.

Призма *11* смонтирована в головке панорамы *16*, которая поворачивается вокруг вертикальной оси на 60° в ту и другую сторону. Следовательно, линия прицеливания может быть отклонена относительно плоскости стрельбы на 120° в каждую сторону. Таким образом, остается мертвый сектор, равный 120°, в пределах которого не представляется возможным пользоваться точками наводки. Отражатель в данной панораме отсутствует. Поэтому при стрельбе следует пользоваться такими точками наводки, которые не выходят за пределы поля зрения прицела.

Панорама имеет следующие оптические характеристики: увеличение — 2, поле зрения 20°, диаметр выходного зрачка — 6 *мм*.

16. Винтовочные оптические прицелы

Применение оптических прицелов для винтовок вызвано стремлением достигнуть возможно большей точности прицеливания при стрельбе по мелким и малозаметным для невооруженного глаза целям. По своему назначению винтовочные прицелы служат только для прямой наводки. Обычно в качестве таких прицелов принимают зрительные трубы, снабженные линзовой оборачивающей системой. В фокальной плоскости объектива этих прицелов устанавливают перекрестье, перемещением которого производят установку прицельных углов. Боковые поправки на ветер и деривацию устанавливают или поворотом всей трубы относительно оси канала ствола винтовки, или также перемещением прицельных нитей в боковом направлении.

На рис. 583 приведен винтовочный прицел обр. 1931 г. Установку прицельных углов в этом прицеле производят вращением маховичка *1*. Боковые прицельные углы устанавливают при помощи маховичка *2*. На маховичке *1* укреплено кольцо с дистанционной шкалой прицельных углов, а на маховичке *2* — кольцо со шкалой боковых поправок, каждое деление

которой равно 1 „тысячной". Для установки прицела по глазу имеется диоптрийное кольцо со шкалой *3*, расположенной в окулярной части прицела.

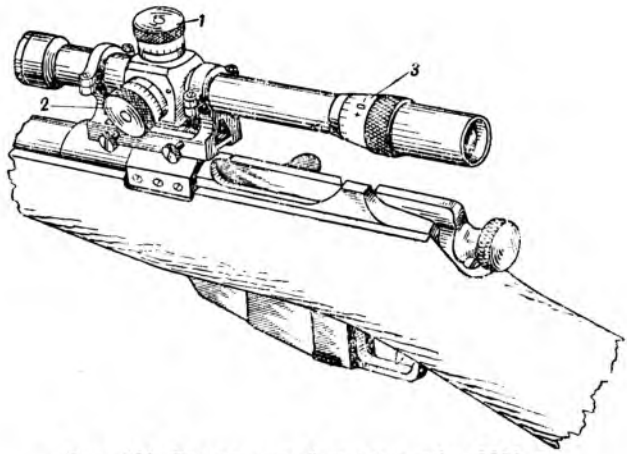


Рис. 583. Винтовочный прицел обр. 1931 г.

17. Прицелы противотанковых орудий

Стрельба по танкам из противотанковых пушек может производиться с обычными прицелами, предназначенными для наводки по неподвижным наземным целям. В частности для наводки противотанковых пушек можно пользоваться пулеметным прицелом обр. 1930 г., изменив в этом прицеле только нарезку дистанционных шкал прицельных углов. Однако условия стрельбы из противотанковых пушек прямой наводкой существенно отличаются от условий стрельбы по неподвижным целям. Во-первых, от противотанкового орудия требуется большая скорострельность. Это требование может быть выполнено при условии непрерывной наводки орудия без производства каких-либо установок по шкалам со стороны наводчика. Во-вторых, стрельба по движущейся цели, особенно при движении ее по пересеченной местности, требует от прицела большого поля зрения. При малом поле зрения затрудняется поимка цели и неизбежны случаи потери ее, приводящие к излишней затрате времени и снижению темпа огня. Поэтому для противотанковых орудий применяются простейшие призменные прицелы, рассчитанные только на прямую наводку. Такой прицел показан на рис. 584. На пластинке, помещенной

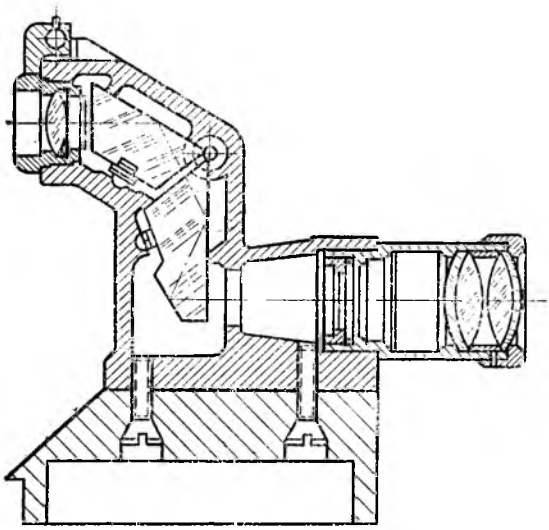


Рис. 584. Прицел противотанковых орудий

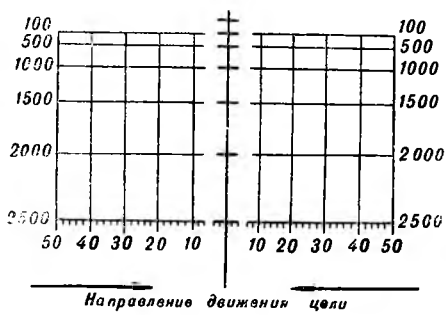


Рис. 585. Сетка в прицеле противотанковых орудий

в фокальной плоскости окуляра, нанесена сетка, пользуясь которой, наводчик производит учет углов прицеливания и боковых поправок без производства установок по шкалам. Горизонтальные линии сетки (рис. 585) предназначены для придания орудию угла прицеливания и вертикальные — для учета боковых поправок. Наводку орудия производят действием на подъемный и поворотный механизмы лафета до совмещения с целью точки пересечения горизонтальной и вертикальной линий, отвечающих требуемой дальности и боковой поправке.

18. Танковые прицелы

Танковые прицелы служат только для прямой наводки орудия и должны одновременно обеспечивать наблюдение за окружающей местностью. Эти прицелы должны также обеспечивать учет поправок на относ снаряда под влиянием движения своего танка, а также учет упреждений на движение цели, так как стрельба может производиться и по движущимся целям, например танкам противника. Танковый прицел не должен требовать много времени на установку исходных данных для открытия огня. Производство необходимых установок по шкалам не должно приводить к снижению скорострельности орудия и прекращению наблюдения за целью. Поэтому основные шкалы прицела наносят на сетки, помещенные в поле зрения прицела, а внешние шкалы делаются только как вспомогательные.

По своему устройству танковые прицелы делят на телескопические и панорамно-перископические.

Общий вид танкового телескопического прицела фирмы Цейс показан на рис. 586. Этот прицел представляет собой телескопическую трубку, которую крепят так, что ее оптическая ось всегда параллельна оси канала ствола. Прицельные углы и боковые поправки устанавливают в прицеле перемещением прицельных нитей, помещенных в фокальной плоскости окуляра. Отсчет значений указанных углов производят по шкалам, нанесенным на пластинке, установленной в фокальной плоскости объектива. Для установки прицельных углов служит маховичок *1* и для установки боковых поправок — маховичок *2*.

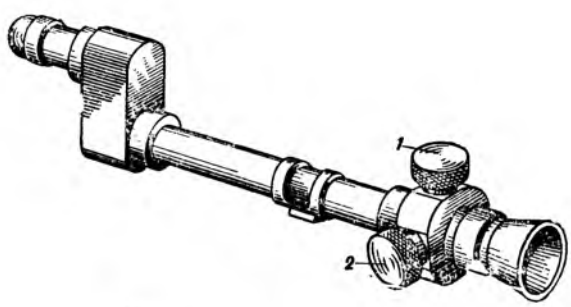


Рис. 586. Прицел танковых орудий

Рис. 587. Схема оптики танкового прицела

Схема оптики одного из танковых прицелов приведена на рис. 587. Между объективом *1* и окуляром *2* установлены две линзы *3* и *4* оборачивающей системы; в фокальной плоскости объектива имеется линза *5*, на плоской стороне которой нанесена сетка. Перед объективом помещены две отражательные призмы *6* и *7*. Поворотом призмы *7* осуществляют установку прицельных углов, отсчет значений которых производят по наружной дистанционной шкале. Установку боковых поправок производят, как и в прицеле Цейса, по шкале в поле зрения прицела. Требуемый угол возвышения и необходимое направление придают орудию действием на подъемный механизм пушки и поворотный

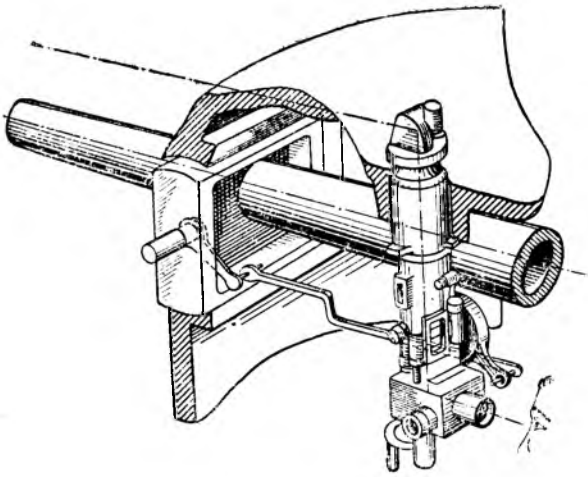


Рис. 588. Панорамно-перископический прицел

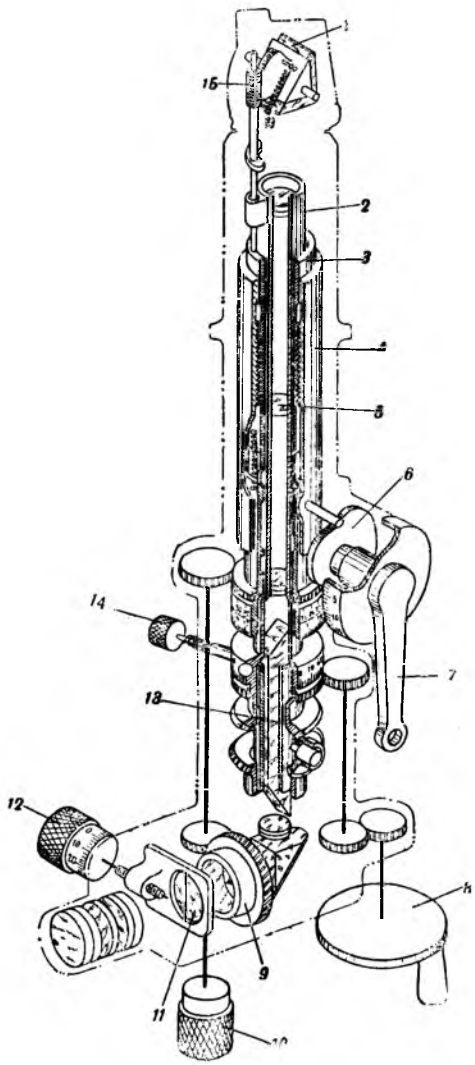


Рис. 589. Схема танкового панорамного прицела

механизм башни до совмещения перекрестья прицельных нитей с целью.

Окуляр танкового телескопического прицела при изменении углов возвышения перемещается вверх или вниз, вследствие чего наводчик должен опускаться или подниматься над сиденьем. Ввиду неустойчивого положения корпуса наводчика затрудняется управление орудием и создаются неудобства при работе на ножном спусковом механизме. В отношении удобств наводки и наблюдения большое преимущество имеют панорамно-перископические прицелы, окуляр которых остается неподвижным при любом значении угла возвышения. В основу устройства таких прицелов кладут обычную артиллерийскую панораму.

Панорамно-перископический прицел устанавливают в крыше башни так, что его головная часть выступает над крышей, а окулярная часть приходится против глаза стрелка, расположенного на сиденье (рис. 588). Связь прицела с орудием осуществляют при помощи параллелограмного привода, который воздействует на головную отражательную призму и изменяет положение линии прицеливания при изменении углов возвышения, придаваемых орудию. Схема танкового панорамного прицела приведена на рис. 589.

В фокальной плоскости объектива прицела установлена сетка *5* в виде кольцевой дистанционной шкалы и шкалы боковых поправок (рис. 590). В фокальной плоскости окуляра имеется пластинка *11*, на которой нанесено перекрестье. При наблюдении в окуляр наводчик видит одновременно предмет, сетку со шкалами и перекрестье.

При действии на подъемный механизм вместе с поворотом орудия в одну и ту же сторону вращается и рычаг *7* с кулачком *6*. Стакан *4*, поднимаясь или опускаясь, переместит червяк *15* и повернет призму *1* так, что линия прицеливания наклонится на тот же угол относительно горизонта, что и ось канала ствола.

Прицельный угол устанавливают при помощи маховичка *10*. При установке этого угла цилиндр *3* вывинчивается из стакана *4* или ввинчивается в него, а червяк *15* перемещается вдоль своей оси и поворачивает призму *1* так, что линия прицеливания отклоняется относительно оси канала ствола орудия. При повороте маховичка *10* происходит также поворот кольца *9* с указателем. Совмещением указателя с соответствующим делением внутренней дистанционной шкалы и производят установку требуемого значения угла прицеливания. Для отсчета прицельных углов имеются также и внешние шкалы. При действии на подъемный механизм орудия призма *1* вращается в сторону, обратную вращению ее при установке прицельного угла. Таким образом, по совмещении перекрестья прицела с целью орудию будет придан необходимый угол прицеливания.

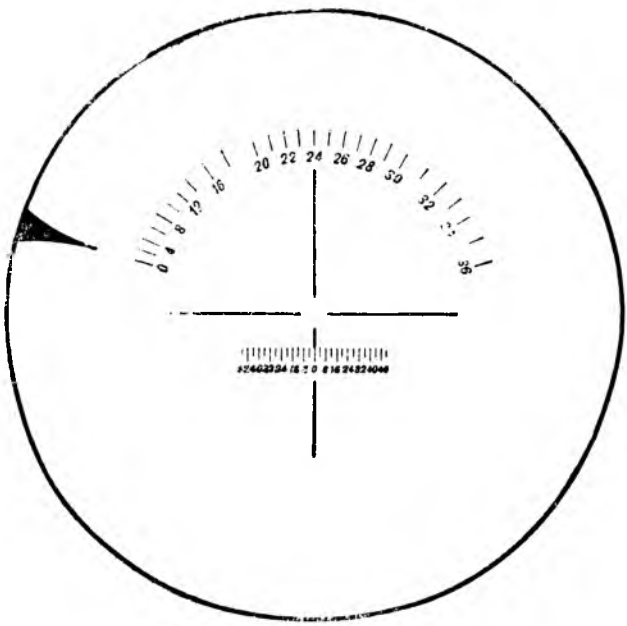


Рис. 590. Сетка прицела

Кругового обзора местности достигают вращением маховичка *8*, в результате чего вращается вокруг своей оси внутренняя труба *2* и головка прицела вместе с призмой *1*. На трубе *2* укреплено кольцо со шкалой горизонтальных углов, которая служит для приема целеуказания от командира танка. Для автоматической установки нулевого деления этой шкалы против указателя при переходе от наблюдения к стрельбе имеется стопор *14*.

Установку боковых поправок производят вращением маховичка *12* по шкале в поле зрения прицела. Указателем шкалы служит вертикальная линия перекрестья. Боковые поправки могут устанавливаться и по шкале, нанесенной на кольце маховичка *12*.

Для компенсирования поворота изображения в результате вращения отражательной призмы *1* вокруг вертикальной оси панорамы служит призма Дове *13*, которая вращается со скоростью, в два раза меньшей скорости вращения отражательной призмы.

Головка прицела, в которой помещается призма *1*, делается съемной и в случае ее повреждения может заменяться запасной.

19. Зенитные автоматические прицелы

Для прямой наводки малокалиберных пушек и пулеметов при стрельбе по зенитным целям применяются так называемые автоматические прицелы. В отличие от обыкновенных прицельных приспособлений с помощью автоматических прицелов решают задачу наводки без производства каких-либо предварительных вычислений со стороны стреляющего. При стрельбе с автоматическими прицелами требуется знать только численные значения тех параметров, которые определяют движение цели и ее положение в пространстве. К этим параметрам относятся скорость и курс цели, наклонная дальность или высота полета самолета. Указанные величины устанавливают по шкалам прицела; значения их предварительно определяют или на-глаз или при помощи курсомера-скоромера и дальномера.

Пусть точка O (рис. 591) отвечает положению орудия и точка A — положению цели в момент выстрела; цель перемещается в направлении AA_y со скоростью v. Положение цели в этот момент определяется величинами наклонной дальности $Д$ и угла места цели ε. Для поражения цели следует направить снаряд в упрежденную точку A_y, в которой он должен встретиться с целью. Поэтому необходимо придать оси канала ствола такое положение OC, которое по отношению к линии цели OA будет определяться величинами угла упреждения Δ и угла прицеливания α; угол прицеливания должен соответствовать упрежденным значениям дальности $Д_y$ и угла места цели ε_y. Для придания орудию указанного положения следует устанавливать линию прицеливания так, чтобы она в любой момент наводки образовала с осью канала ствола углы Δ и α. Эта задача в автоматических прицелах решается построением двух треугольников Oaa_y и Oa_yc, подобных пространственным треугольникам OAA_y и OA_yC.

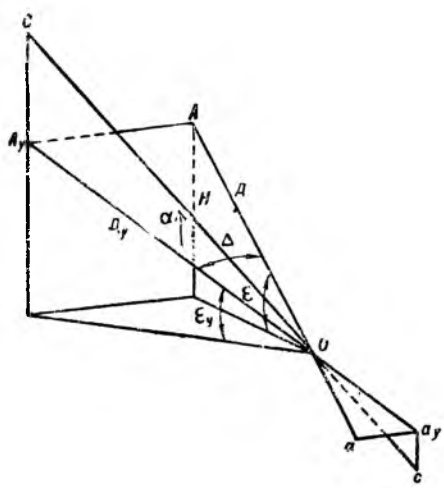


Рис. 591. Схема для пояснения устройства автоматических прицелов

Условимся называть треугольник Oaa_y упредительным и треугольник Oa_yc — балистическим.

Принципиальная схема автоматического прицела приведена на рис. 592. В основу прицела положены три линейки, могущие занимать различные положения одна относительно другой. Линейка *1* скреплена со стволом параллельно его оси (рис. 592). Вторая линейка *2* укреплена на вертикально расположенной оси *4* и может быть установлена параллельно курсу цели. Третья линейка *3* шарнирно скреплена в точках O и a с линейками *1* и *2*, и на ней должно быть установлено визирное приспособление. Принято называть линейку *1*, связанную со стволом, орудийной линейкой, линейку *2*, устанавливаемую по курсу цели,— курсовой линейкой, а линейку *3* — прицельной линейкой.

Перемещением ползуна *5* с шарниром O и каретки *6* с шарниром a изменяются величины сторон упредительного треугольника Oaa_y; одновременно изменяется и величина стороны Oc балистического треугольника. Перемещением линейки *2* в вертикальных направляющих *7* изменяется вторая сторона a_yc балистического треугольника. Указанные перемещения осуществляются в виде установок по соответствующим шкалам прицела. После этого действием подъемного и поворотного механизмов наведения или просто воздействием на рукоятки пулемета визируют по

цели и добиваются совмещения прицельной линейки *3* с линией цели *OA*. В таком случае по окончании наводки линия Oa_y окажется совмещенной с упрежденной линией цели OA_y, а линейка *1* (линия *Oc*) установится по отношению к этой линии под углом, равным углу прицеливания α. Поскольку же ствол связан с линейкой *1*, постольку и он примет такое положение в пространстве, которое отвечает упрежденной точке A_y.

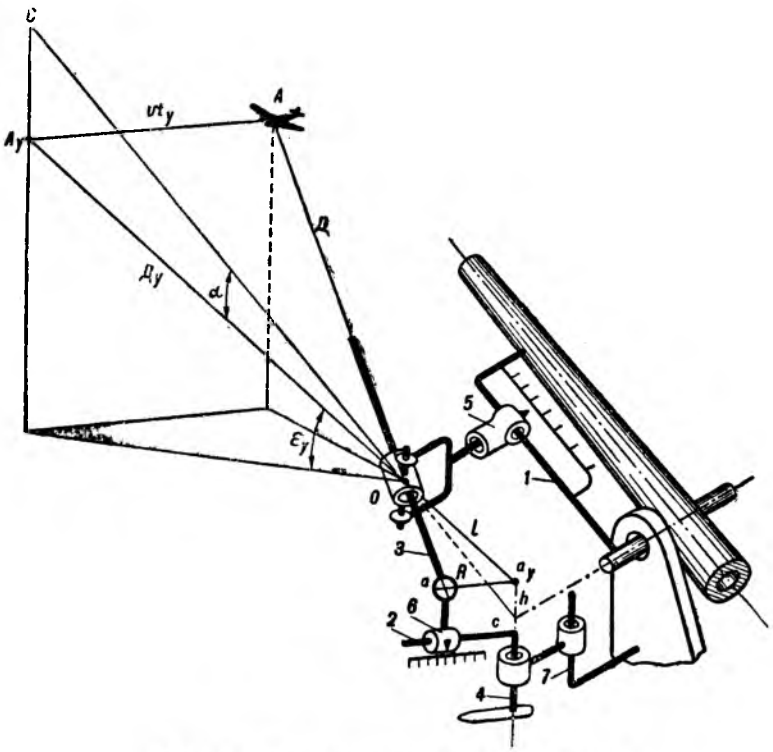


Рис. 592. Схема автоматического прицела

Как видно, в процессе наводки пулемета курсовая линейка *2* должна удерживаться в положении, параллельном курсу цели. Для этого устраивают специальные механизмы, связывающие кинематически курсовую линейку с поворотным механизмом лафета орудия или станка пулемета. Первоначальная установка линейки *2* по курсу цели производится наводчиком от руки.

Обозначим сторону Oa_y упредительного треугольника через l и сторону aa_y — через R. Из подобных треугольников Oaa_y и OAA_y имеем соотношение:

$$\frac{l}{R} = \frac{Д_y}{vt_y},$$

или

$$\frac{l}{R} = \frac{v_{c,y}}{v},$$

где $v_{c,y}$ — средняя скорость полета снаряда, отвечающая упрежденным значениям дальности $Д_y$ и угла места цели ε_y.

Значения $Д_y$ и ε_y, а следовательно, и $v_{c,y}$ в процессе наводки орудия стреляющему неизвестны. Поэтому при разработке простейших прицелов принимают величину $v_{c,y}$ равной такой средней скорости v_c, которая отвечает дальности в момент производства выстрела. Кроме этого, пола-

гают, что время полета снаряда не зависит от угла места цели ε, а изменяется только в зависимости от дальности.

На этом основании приведенная выше зависимость напишется в виде

$$\frac{l}{R} = \frac{v_c}{v}, \tag{8}$$

где v_c зависит только от дальности $Д$, отвечающей моменту производства выстрела.

В данном прицеле величина R изменяется пропорционально скорости цели v:

$$R = kv,$$

где k — коэфициент пропорциональности.

Для установки величины R на линейке *2* помещена шкала скорости цели. На основании формулы *8* величина l должна изменяться в зависимости от средней скорости полета снаряда v_c. При стрельбе с автоматическим прицелом приходится иметь дело с небольшими значениями углов прицеливания. Поэтому за величину l принимают сторону балистического треугольника Oc, т. е. считают, что

$$Oa_y = Oc = l.$$

На этом основании шкала средних скоростей полета снаряда v_c, градуированная в делениях дальности, нанесена на линейке *1*. Таким образом, установку дальности до цели осуществляют перемещением ползуна *5* и отсчет значений ее производят по указанной шкале.

Изменением стороны $a_y c = h$ балистического треугольника производят установку прицельного угла. В зависимости от конструкции прицела эту установку осуществляют подниманием или всего курсового механизма или только его отдельных деталей, связанных с шарниром a прицельной линейки.

Как видно, для установки прицельных углов необходима дистанционная шкала, поскольку углы прицеливания зависят от дальности. Однако этой шкалы в современных прицелах не делают, а пользуются той шкалой, которая предназначена для построения сторон упредительного треугольника. В таком случае подъем курсовой линейки *2* производят одновременно с установкой по дистанционной шкале величины средней скорости полета снаряда v_c.

Выше рассмотрена схема прицела в предположении, что орудийная линейка *1* установлена параллельно оси канала ствола пулемета. Имеются пулеметные прицелы, у которых указанная линейка установлена под некоторым углом по отношению к оси канала ствола. Такая установка линейки обеспечивает придание пулемету угла прицеливания без подъема курсового механизма. Сущность этого принципа изложена при описании кольцевого пулеметного прицела обр. 1929 г.

Из схемы прицела (рис. 592) видно, что для направления снаряда в упрежденную точку необходимо орудию придать угол прицеливания, отвечающий упрежденной дальности, которая в процессе стрельбы наводчику неизвестна. Поэтому простейшие автоматические прицелы рассчитывают так, чтобы обеспечить придание орудию угла прицеливания, отвечающего не упрежденной дальности, а дальности $Д$ в момент выстрела. В автоматических прицелах не предусматривают также устройств для учета боковых углов прицеливания.

В условиях наземной стрельбы величина угла прицеливания практически не зависит от угла места цели. Поэтому при стрельбе по наземным целям приходится считаться только с изменением углов прицеливания

в зависимости от дальности. При зенитной стрельбе следует учитывать изменение углов прицеливания в зависимости от углов места цели, поскольку эти углы изменяются в довольно широком диапазоне. При изменении угла места цели от 0° до 90° угол прицеливания изменяется от какого-либо значения α_0 до 0°, т. е. при увеличении угла места цели и одном и том же значении дальности угол прицеливания уменьшается.

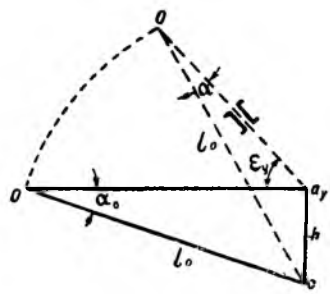


Рис. 593. Балистический треугольник

Автоматические прицелы разрабатываются таким образом, что при вертикальной наводке пулемета прицельный угол, установленный для какой-либо дальности, автоматически изменяется. Допустим, что упрежденный угол места цели ε_y равен 0°. В таком случае балистический треугольник Oa_yc примет положение, обозначенное на рис. 593 сплошными линиями. Угол прицеливания α_0 будет соответствовать той или другой дальности и углу $\varepsilon_y = 0$. При угле места цели ε_y, отличном от нуля, балистический треугольник займет новое положение, обозначенное пунктирными линиями; при этом установится новое значение прицельного угла α, отличное от угла α_0.

Закон изменения углов α определится из рассмотрения приведенных треугольников:

$$\frac{h}{\sin\alpha} = \frac{l_0}{\cos\varepsilon_y};$$

$$h = l_0 \sin\alpha_0;$$

$$\sin\alpha = \sin\alpha_0 \cos\varepsilon_y. \qquad (9)$$

Формула (9) принята в основу устройства большинства автоматических прицелов, так как она достаточно близко отражает действительный закон изменения углов прицеливания в зависимости от углов места цели.

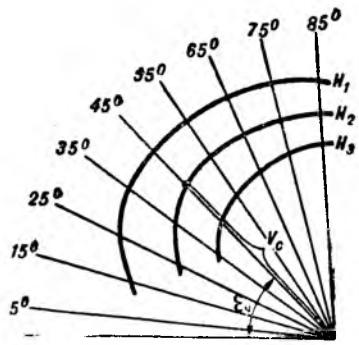


Рис. 594. График средних скоростей полета снаряда

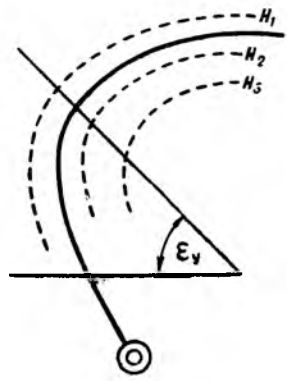


Рис. 595. Схема изменения величины l при помощи шаблона

При стрельбе по движущейся зенитной цели наклонная дальность непрерывно изменяется. Поэтому приходится довольно часто изменять установку ее величины. Чтобы избежать этого неудобства, разрабатывают так называемые высотовые прицелы. По шкале высотового прицела должна устанавливаться не дальность, а высота полета H, которая при движении цели в горизонтальной плоскости может быть принята за постоянную величину.

При данной высоте полета самолета средняя скорость снаряда v_c будет изменяться только в зависимости от угла места цели ε_y. Если воспользоваться полярной системой координат, то указанную зависимость можно выразить в виде кривой, представленной на рис. 594. Задавшись рядом значений высот, получим график, любая кривая которого будет отвечать определенной высоте полета самолета. Такой график крепится на станке пулемета или лафете орудия так, чтобы им можно было пользоваться при изменении стороны l упредительного треугольника.

Приведенный на рис. 594 график можно приближенно воспроизвести при помощи криволинейного шаблона путем поворота его вокруг какой-либо точки (рис. 595). В таком случае на ползуне *5* (рис. 592) вместо указателя шкалы должен быть укреплен палец, помещенный одновременно в пазу шаблона. При изменении угла возвышения этот палец будет скользить по пазу шаблона, и этим самым будет автоматически изменяться сторона l упредительного треугольника. Нетрудно видеть, что установка шаблона в различные положения должна производиться по высотной шкале.

20. Автоматический прицел фирмы Цейс

Прицел фирмы Цейс рассчитан для наводки крупнокалиберных пулеметов и малокалиберных пушек. В этом прицеле сторона l упредительного треугольника является постоянной по своей величине, а изменяется только вторая сторона R. На основании формулы (8) ее величина должна быть равна

$$R = \frac{v}{v_c}.$$

Зависимость между значениями R, v и v_c может быть представлена в виде

$$\lg R = \lg v + \lg\left(\frac{1}{v_c}\right).$$

На рис. 596 приведена принципиальная схема прицела, и на рис. 597 показан его общий вид. На диске *3* с криволинейным пазом имеется дистанционная шкала значений $\lg\left(\frac{1}{v_c}\right)$, а на втором диске *4* — логарифмическая шкала значений скорости цели v. Установка скорости цели производится поворотом диска *4* до совмещения соответствующего деления шкалы скорости с указателем. Для этого пользуются одним из маховичков *5*. Поворотом диска *3* осуществляется установка дальности по дистанционной шкале; отсчет значений дальности производится против одного из цветных указателей, имеющихся на диске *4*. Эта установка выполняется действием на маховичок *6*. В результате произведенных установок диск *3* повернется относительно своего нулевого положения на угол, пропорциональный $\lg R$. Криволинейный паз этого диска рассчитан так, что при повороте

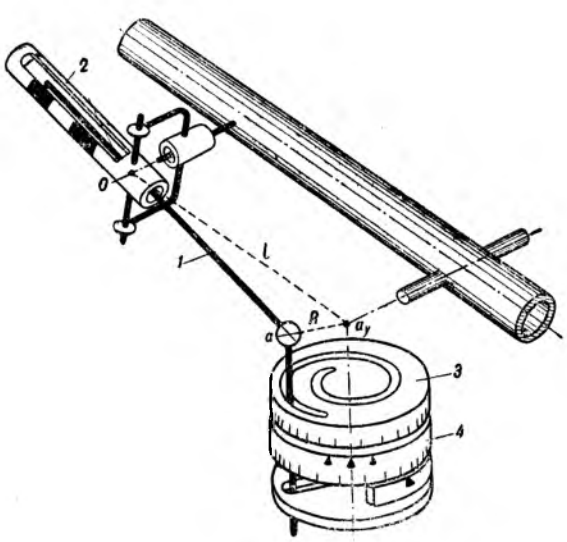


Рис. 596. Схема прицела Цейса

его на величину lg R палец с шарниром a смещается относительно оси вращения стола прицела на величину R.

Прицельная линейка *1* телескопически соединена с муфтой *2*, на срезе окна которой имеется ряд разноцветных полосок, а на самой прицельной линейке помещен указатель. Число цветных полосок на муфте *2* равно числу указателей на диске *4*. При наводке орудия наблюдают, против какой цветной полоски установлен указатель прицельной линейки *1*. При установке же дальности по шкале *3* пользуются таким указателем, который имеет одинаковый цвет с полоской на муфте *2*. Применение ряда указателей для установки дальности позволило не прибегать к допущениям, которые принимаются в основу устройства простейших автоматических прицелов.

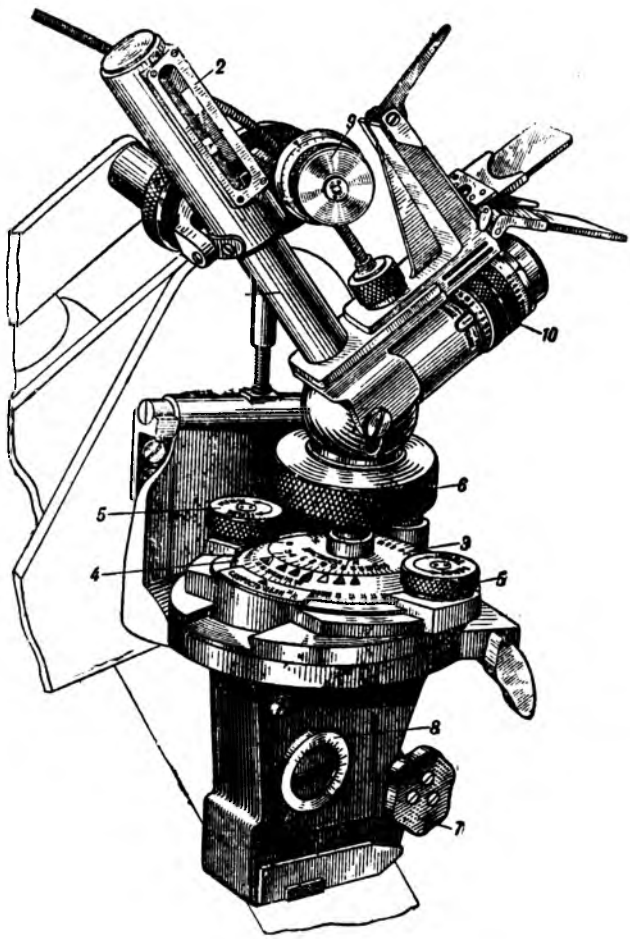


Рис. 597. Прицел Цейса

При повороте маховичка *6* шарнир прицельной линейки не только смещается относительно оси вращения стола прицела, но и получает перемещение вверх вдоль оси стола. Таким образом, одновременно с изменением стороны R упредительного треугольника изменяется и сторона балистического треугольника. Этим самым устанавливается в прицеле величина прицельного угла, отвечающего упрежденной дальности.

Данный прицел обеспечивает наводку орудия при стрельбе по самолетам, перемещающимся в наклонной плоскости. Для этой цели имеется приспособление, которое позволяет устанавливать сторону R упредительного треугольника под различными углами к горизонту. Величины углов

пикирования или кабрирования самолета устанавливаются маховичком *7* по шкале *8*; при этом шарнир прицельной линейки получает перемещение вверх или вниз.

В качестве визира прицел имеет коллиматор, укрепленный на прицельной линейке *1*. В прицеле имеются механизмы для корректуры огня. Корректура в боковом направлении производится при помощи маховичка *9*, и корректура в угле возвышения — путем поворота кольца *10* визира. Поворотом кольца *10* производится также установка прицельных углов при стрельбе по наземным целям.

21. Зенитный пулеметный прицел обр. 1929 г.

На пулемете укреплена линейка *1*, на которой установлен кольцевой визир *2* радиуса R (рис. 598). Этот визир при помощи отвеса *3* удерживается в горизонтальной плоскости. На стойке наземного прицела помещен диоптр O; линия, соединяющая центр диоптра с центром a_y кольца, образует с осью канала ствола пулемета прицельный угол α.

Расстояние l между центрами диоптра и кольцевого визира *2* выбирается в соответствии с наклонной дальностью $Д$.

При наводке оружия с таким прицелом визирование в цель осуществляется через диоптр O и какую-либо точку a на кольцевом визире.

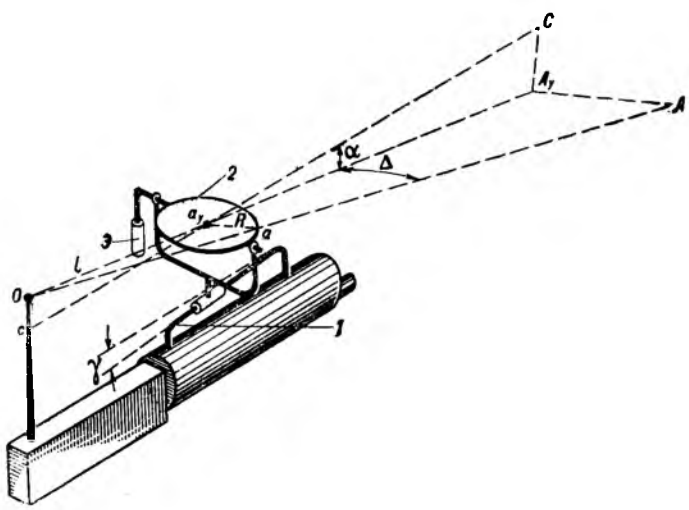


Рис. 598. Схема зенитного пулеметного прицела

Точка a выбирается наводчиком с таким расчетом, чтобы цель казалась перемещающейся к центру кольцевого визира или чтобы радиус, проведенный из этой точки, был параллелен курсу цели. В таком случае будет осуществлено построение такого треугольника Oaa_y, который является подобным пространственному треугольнику OAA_y. Таким образом в процессе наводки пулемета будет учтен угол упреждения Δ.

Кольцевой визир прицела состоит из трех концентрически расположенных колец; радиус R каждого кольца отвечает определенной скорости цели v (рис. 599). Малое кольцо отвечает скорости цели 30 *м/сек*, среднее — 50 *м/сек* и большое — 70 *м/сек*.

На основании формулы (8) расстояние l между центрами кольцевого визира и диоптра должно изменяться в зависимости от средней скорости полета пули v_c.

Различные расстояния l между центрами визиров устанавливаются в прицеле путем перемещения каретки кольцевого визира *2* вдоль линейки *1*, на которой имеется дистанционная шкала, нанесенная в гектометрах. Отсюда линейка *1* носит название дистанционной линейки.

Дистанционная линейка *1* установлена под углом γ по отношению к оси канала ствола пулемета (рис. 599). Сделано это для того, чтобы при установке дальности автоматически устанавливался прицельный угол. При перемещении визира *2* вдоль дистанционной линейки будет изменяться величина прицельного угла α. Таким образом производится установка указанного угла при дальностях стрельбы в пределах до 1 000 *м*. При бо́льших дальностях будут устанавливаться такие прицельные углы, которые не будут отвечать табличным значениям углов прицеливания. Поэтому приходится изменять угол наклона дистанционной линейки в зависимости от дальности. С этой целью дистанционная линейка одним концом шарнирно укреплена на пулемете, а другим концом также шарнирно скреплена с поводком *4*, который соединен с маткой винта *5*.

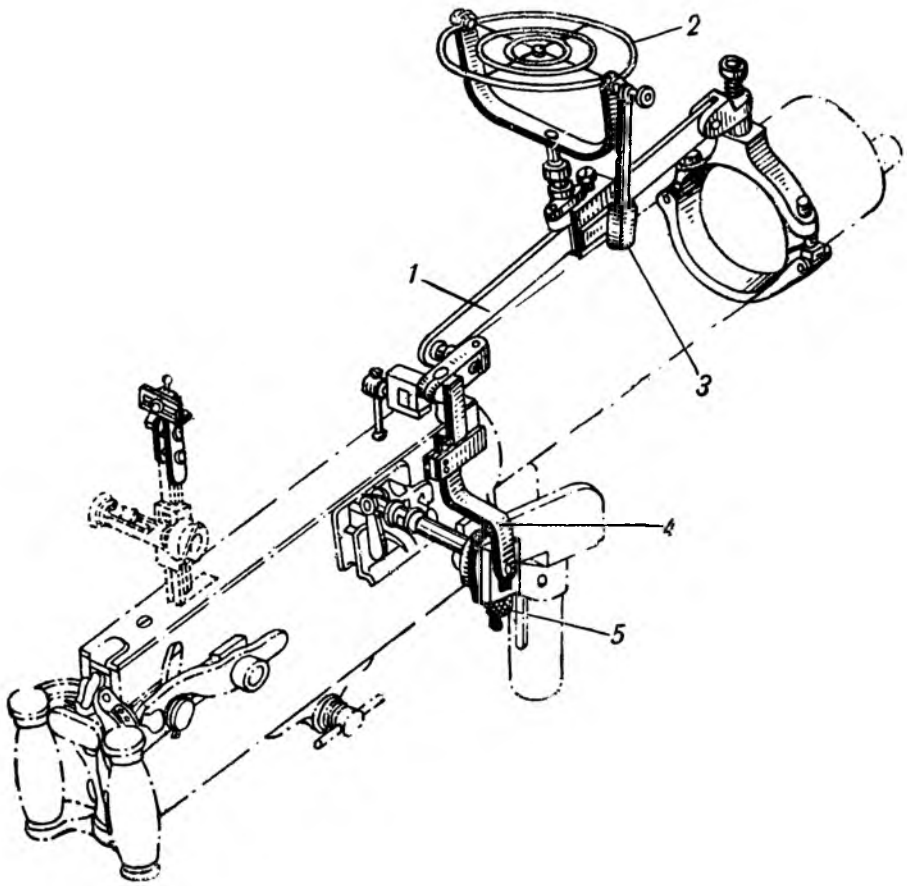


Рис. 599. Зенитный пулеметный прицел

Против указателя этой матки имеется дистанционная шкала, нулевое значение которой совпадает с осью вращения пулемета. Шкала градуирована в гектометрах и помечена цифрами 0, 10, 12, 13, 14. При любой дальности в пределах до 1 000 *м* наводка производится при одной и той же установке на делении „10". При бо́льших дальностях производится соответствующая установка по шкале.

Прицел устроен так, что при вертикальной наводке пулемета прицельный угол, установленный для какой-либо дальности, будет автоматически изменяться. Эта задача решается путем атоматического изменения угла наклона дистанционной линейки. Ось вращения поводка *4* не совпадает с осью вращения пулемета. Поэтому с увеличением угла места цели задний конец дистанционной линейки поднимается вверх, в силу чего прицельный угол автоматически уменьшается согласно формуле (9).

При малых углах места цели наводка при горизонтальном расположении кольцевого визира невозможна. В таких случаях кольцевой визир устанавливают в вертикальном положении так, чтобы плоскость кольца была параллельна курсу цели. Для этого отвес *3* поворачивают на угол 90° вокруг оси цапф кольца *2*.

При стрельбе с кольцевым прицелом возникают трудности при наличии такой скорости цели, которая не предусмотрена конструкцией визира. В этом случае возможен только приближенный учет скорости цели путем выбора точки между кольцами или на ближайшем из них.

Для наводки пулемета с данным прицелом необходима длительная тренировка стрелка, так как на кольце визира нет опорной фиксированной точки, с которой при наводке должна совмещаться цель.

Цена 9 р. 75 к.