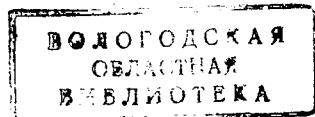


И. И. ЛЕОНОВИЧ

# АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЛЕСОВОЗНЫЕ ДОРОГИ

(ПРОЕКТИРОВАНИЕ, СТРОИТЕЛЬСТВО  
И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ  
С ПРИМЕРАМИ И ЗАДАЧАМИ)

*Допущено Министерством высшего, среднего специального  
и профессионального образования БССР в качестве учебного  
пособия для лесоинженерных специальностей лесотехнических  
и технологических вузов*



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ВЫСШАЯ ШКОЛА»  
МИНСК 1965

В книге изложены данные о проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог, используемых в лесной промышленности СССР, разобраны примеры решения дорожно-транспортных вопросов, приведены основные справочные материалы и характерные задачи.

В книге освещены вопросы проектирования и расчета транспортной сети, плана и профилей автомобильных лесовозных дорог, расчета нежестких и жестких дорожных покрытий, искусственных сооружений и водоотвода, тягово-эксплуатационных расчетов дорожно-строительных и лесотранспортных машин, организации, технологии строительства дорог и транспорта грузов.

При написании книги использована Международная система единиц измерений. Приведены основные сведения об этой системе и методы перевода технических формул в новую систему единиц.

Книга предназначается для студентов вузов очного и заочного обучения и техникумов, изучающих автомобильные дороги, а также для широкого круга инженерно-технических работников, занимающихся проектированием, строительством и эксплуатацией дорог.

Научный редактор — доцент, кандидат технических наук В. Д. Мартынин.

Рецензенты:

Б. Г. Гастев — профессор, доктор технических наук,  
А. Г. Грицкевич — кандидат технических наук.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие . . . . .	6
<b>Глава I. Транспортное освоение лесных массивов</b>	
1—1. Размещение лесовозных дорог . . . . .	10
1—2. Протяженность веток и усов . . . . .	13
1—3. Основные измерители дорожно-транспортной сети . . . . .	17
1—4. Примеры решения задач (1—6) . . . . .	18
1—5. Задачи (1—27) . . . . .	22
<b>Глава II. Проектирование автомобильных лесовозных дорог в плане</b>	
2—1. Трассированные дороги . . . . .	27
2—2. Ширина автомобильных лесовозных дорог . . . . .	33
2—3. Уширение дороги на кривых . . . . .	38
2—4. Основные расчеты виража . . . . .	41
2—5. Расчеты по обеспечению видимости на кривых . . . . .	43
2—6. Примеры решения задач (7—12) . . . . .	45
2—7. Задачи (28—96) . . . . .	54
<b>Глава III. Проектирование продольного и поперечного профилей автомобильных лесовозных дорог</b>	
3—1. Продольный профиль дороги . . . . .	63
3—2. Поперечные профили дороги . . . . .	68
3—3. Расчеты объемов земляного полотна . . . . .	70
3—4. Устойчивость земляного полотна . . . . .	74
3—5. Примеры решения задач (13—17) . . . . .	80
3—6. Задачи (97—166) . . . . .	87
<b>Глава IV. Дорожные покрытия</b>	
4—1. Расчеты оптимальных грунтовых и гравийных смесей . . . . .	99
4—2. Основной метод расчета нежестких дорожных покрытий . . . . .	105
4—3. Ускоренный метод расчета нежестких покрытий автомобильных лесовозных дорог . . . . .	117
4—4. Расчет жестких покрытий лесовозных дорог . . . . .	119
Деревянно-лжневые покрытия и их расчет . . . . .	120
Методы расчета железобетонных колейных покрытий . . . . .	127
Определение несущей способности железобетонных плит . . . . .	134
Принципы расчета несущей способности плит с предварительно напряженной арматурой . . . . .	139

4—5. Покрытия зимних автомобильных лесовозных дорог . . . . .	141
4—6. Примеры решения задач (18—28) . . . . .	143
4—7. Задачи (167—262) . . . . .	153
<b>Глава V. Искусственные сооружения и дорожный водоотвод</b>	
5—1. Важнейшие элементы и характеристики водосбора . . . . .	169
5—2. Определение расчетных расходов малых искусственных сооружений . . . . .	173
5—3. Расчет отверстий малых мостов . . . . .	187
5—4. Определение отверстий водопропускных дорожных труб . . . . .	198
1. Незатопленные безнапорные трубы . . . . .	200
2. Затопленные безнапорные трубы . . . . .	202
3. Полунапорные трубы . . . . .	204
4. Напорные трубы . . . . .	204
5—5. Определение отверстий мостов через большие водотоки . . . . .	206
5—6. Определение высоты насыпи у искусственных сооружений . . . . .	208
5—7. Определение длины искусственных сооружений . . . . .	209
5—8. Гидравлические расчеты водоотводных канав (кюветов) . . . . .	211
5—9. Примеры решения задач (29—41) . . . . .	218
5—10. Задачи (263—366) . . . . .	237
<b>Глава VI. Строительство автомобильных лесовозных дорог</b>	
6—1. Тягово-эксплуатационные расчеты дорожно-строительных машин . . . . .	256
6—2. Выбор дорожных машин и способов производства работ . . . . .	271
6—3. Экономическая эффективность внедрения новой техники и технологии на строительстве лесовозных дорог . . . . .	276
6—4. Организация и технология строительства дорог . . . . .	279
6—5. Принципы расчета стоимости строительства лесовозных дорог . . . . .	282
6—6. Примеры решения задач (42—49) . . . . .	285
6—7. Задачи (367—409а) . . . . .	299
<b>Глава VII. Эксплуатация дороги</b>	
7—1. Тягово-эксплуатационные расчеты автомобильного лесотранспорта . . . . .	308
1. Силы, действующие на автомобильный поезд . . . . .	308
2. Определение весовых норм автомобильных поездов . . . . .	314
3. Способы определения скоростей движения и времени хода . . . . .	317
4. Производительность лесовозных автомобилей . . . . .	325
5. Расчет потребности горюче-смазочных материалов . . . . .	325
7—2. Выбор типа автомобиля и прицепного состава . . . . .	327
7—3. Организация лесотранспортных работ . . . . .	330
7—4. Некоторые вопросы содержания и ремонта дорог . . . . .	332
7—5. Примеры решения задач (50—57) . . . . .	335
7—6. Задачи (410—470) . . . . .	340
<b>Глава VIII. Международная система единиц СИ и ее использование при решении задач автомобильного лесотранспорта</b>	
8—1. Единицы механических измерений, их величина и размерность . . . . .	349
8—2. Соотношение между основными единицами измерения разных систем . . . . .	357
8—3. Перевод формул из других систем в Международную систему единиц . . . . .	361

Ответы . . . . .	366
Литература . . . . .	369
Приложения	
Алфавиты . . . . .	373
1. Краткая техническая характеристика лесовозных автомобилей	374
2. Краткие технические характеристики прицепного подвижного состава автомобильных лесовозных дорог . . . . .	378
3. Типовые поперечные профили автомобильных лесовозных дорог	379
4. Дорожная классификация грунтов . . . . .	383
5. Распределение грунтов по степени трудности разработки и их объемная масса . . . . .	385
6. Перевод градусной меры в радианную . . . . .	387
7. Перевод радианной меры в градусную . . . . .	388
8. Тригонометрические функции при изменении аргумента в промежутке от 0 до 6,28 радиан . . . . .	389
9. Логарифмы чисел от 1 до 50 . . . . .	394

---

## ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние годы в лесной промышленности и лесном хозяйстве СССР наиболее интенсивно развивается автомобильный транспорт леса, растет протяженность и грузооборот эксплуатируемых автомобильных дорог.

Уже в настоящее время более 65 % заготавливаемой древесины перевозится автомобилями к магистральным железным дорогам, к сплавным рекам и потребителям, а протяженность постоянно действующих автомобильных лесовозных дорог превышает 60 тыс. км.

Чтобы оценить значение автомобильных лесовозных дорог в народном хозяйстве страны, достаточно сказать, что ежегодно по ним перевозится свыше 500 млн. т грузов.

Перспективным планом развития народного хозяйства СССР предусматривается дальнейшее увеличение объема автомобильной вывозки древесины, создание комплексных постоянно действующих предприятий и значительное повышение производительности труда.

Предусматривается также дальнейшее совершенствование автомобильного транспорта леса путем внедрения новых дорожно-строительных и лесотранспортных машин, усовершенствованных типов дорожных покрытий и конструкций, рациональных методов строительства и эксплуатации дорог.

Успешное решение задач, стоящих перед лесной промышленностью, во многом зависит от уровня теоретической и практической подготовки инженерно-технических работников.

Для улучшения дорожного дела в первую очередь необходимо улучшить специальную подготовку инженерных кадров.

Проектировщики, строители и эксплуатационники дорог должны уметь эффективно использовать новейшие достижения науки, свободно владеть теоретическим аппаратом, иметь достаточно прочные навыки в выполнении технических и технологических расчетов.

При подготовке инженеров лесной промышленности и лесного хозяйства изучению сухопутного транспорта леса отводится большое место. Из специальности «лесоинженерное дело» выделена самостоятельная специализация «Сухопутный транспорт леса». Кроме общего курса «Сухопутный транспорт леса», в учебные планы по этой специализации включены профилирующие дисциплины: «Теория проектирования лесовозных дорог», «Организация строительства лесовозных дорог», «Дорожно-строительные машины». Значительно увеличен объем учебно-лабораторных занятий. В программы включены вопросы о переходных и усовершенствованных типах покрытий, новых машинах, прогрессивных способах строительства и эксплуатации дорог.

Сухопутный транспорт леса входит также в учебные планы или программы, по которым ведется подготовка инженеров-технологов по механизации лесоразработок и нижних складов, водному транспорту леса, инженеров-механиков лесной промышленности и инженеров лесного хозяйства.

Глубокое и прочное усвоение студентами курса «Сухопутный транспорт леса» связано с необходимостью решения различных задач, на которые может быть условно разделен комплекс дорожно-транспортных вопросов.

Необходимы также знания в области геодезии, грунтоведения, геологии, гидравлики, гидрологии и гидрометрии, строительной и технической механики, технологий лесозаготовительного производства и других наук.

По сухопутному транспорту леса выпущено немало научной, учебной и производственной литературы. Широкой известностью пользуются работы ЦНИИМЭ, Гипролестранса и других научно-исследовательских и проектных институтов лесной промышленности.

Большой вклад в развитие лесотранспортной науки вносят работники кафедр сухопутного транспорта леса высших учебных заведений. Ведущую роль среди них занимают профессора Б. Г. Гастев, М. М. Корунов, Н. Г. Корчунов, доценты В. И. Гарузов, Ф. Д. Головнев, Б. Е. Епифанов, Б. А. Ильин, Б. Д. Ионов, М. И. Кишинский, Б. И. Кувалдин, В. И. Мельников, М. М. Таргонский, В. В. Щелкунов и другие. Ими опубликовано много работ по различным вопросам лесотранспорта.

С результатами новейших научных достижений и передовым производственным опытом в области лесотранспорта постоянно знакомит специалистов журнал «Лесная промышленность».

Выщенная научная и учебная литература по сухопутному лесотранспорту носит главным образом теоретический или методический характер. Для практического же усвоения курса

назрела необходимость иметь учебное пособие в примерах и задачах.

Настоящее пособие составлено в соответствии с программой курса по автомобильным лесовозным дорогам. Оно включает 470 задач, важнейшие сведения о методах расчета основных параметров и элементов продольного и поперечного профилей автомобильных дорог, технологии дорожно-строительных и лесотранспортных работ, методические указания и типовые примеры.

При написании пособия использована Международная система единиц СИ, основные положения которой изложены применительно к вопросам лесотранспорта.

Ввиду комплексности дисциплины и сравнительно небольшого объема настоящего пособия, а также в силу того, что такого типа учебное пособие по автомобильным лесовозным дорогам составляется впервые и что при составлении его нужно было перейти на новую систему единиц, автор встретился с большими методическими трудностями, которые ему, возможно, и не удалось полностью преодолеть.

Автор выносит глубокую благодарность проф. С. Х. Будыке, проф. В. Е. Вихрову, проф. Б. Г. Гастеву, доц. Н. А. Гайдару, доц. Б. Е. Елифанову, доц. В. В. Жукову, доц. М. Г. Краснику, доц. В. Д. Мартынихину, канд. техн. наук А. Г. Грицкевичу, инженерам Р. И. Герман, Г. Г. Давыдулину, В. С. Макаревичу, А. П. Оковитому за ценные указания и советы, использованные в работе над книгой.

Автор будет весьма благодарен всем организациям и специалистам за критические замечания и пожелания, направленные на улучшение содержания учебного пособия, которые просит сообщить по адресу: г. Минск, ул. Кирова, 24, издательство «Высшая школа» или г. Минск, ул. Свердлова, 13, Белорусский технологический институт имени С. М. Кирова.

---

## ГЛАВА ПЕРВАЯ

### ТРАНСПОРТНОЕ ОСВОЕНИЕ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ

Выполнение лесохозяйственных и лесоэксплуатационных работ на территории лесных массивов немыслимо без развитой сети дорог (рис. 1—1). Но строительство дорог обходится

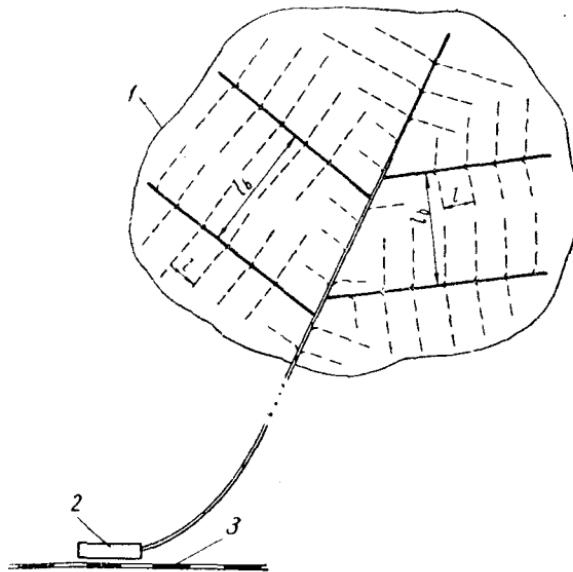


Рис. 1—1. Схема транспортных путей в лесном массиве:  
— магистраль; — ветки; - - усы; 1 — граница сырьевой базы; 2 — нижний склад; 3 — тупик ж. д.

сравнительно дорого, дорожные просеки уменьшают продуктивные лесные площади, приводят к повреждениям крайних деревьев. Вследствие этого расположение дорог и густота дорожной сети

должны тщательно обосновываться. При обосновании необходимо учитывать дислокацию и товарность лесных массивов, почвенно-грунтовые и топографические условия, а также принятый тип дорог, технологические и эксплуатационные требования. Правильное размещение дорог в лесных массивах и оптимальная их протяженность позволяет снизить до минимума строительные и эксплуатационные затраты.

### 1—1. РАЗМЕЩЕНИЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

В зависимости от протяжения и срока службы дорожная сеть лесозаготовительных предприятий разделяется на:

- а) магистрали, действующие в течение всего или значительной части срока работы предприятия;
- б) ветки — ответвления, действующие два и более года и имеющие длину более 3 км;
- в) усы — ответвления протяжением до 3 км, примыкающие к магистралям и веткам и имеющие срок действия до 1 года;
- г) погрузочные и разгрузочные пути кратковременного и долговременного действия.

Одним из наиболее важных вопросов размещения лесовозных дорог в пределах сырьевой базы является выбор местоположения магистрального пути.

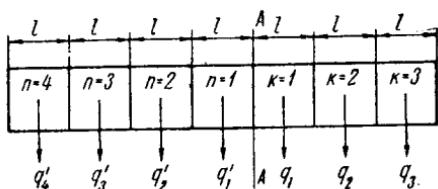


Рис. 1—2. Расчетная схема для определения направления магистрали

В ряде случаев положение магистрали полностью определяется местными условиями — рельефом, наличием пустырей, заболоченных пространств, характером речной системы и т. д. Иногда решающими в этом отношении

являются интересы народного хозяйства района. Однако наиболее часто местные факторы выражены недостаточно четко и поэтому не могут играть решающей роли. Направление магистрали в таком случае устанавливается на основании технико-экономических расчетов. При этом сырьевая база разделяется на несколько полос (по 2—4 км каждая), перпендикулярных общему направлению грузопотока. Полосы разбиваются на квадраты (рис. 1—2). Вычисляются эксплуатационные запасы древесины в квадратах и на основании их производится разбивка полосы на две равные части. Затем вычисляется грузовая работа левой и правой части полосы.

Для левой части полосы (рис. 2\*) используется формула

\* При ссылке на параграфы, таблицы и формулы рассматриваемой главы указывается только их порядковый номер, а на помещенные в других главах, кроме того, и номер главы.

$$R_n = l \Sigma q_n (n - 0,5), \quad (1-1)$$

а для правой части полосы —

$$R_n = l \Sigma q_k (k - 0,5), \quad (1-2)$$

где  $l$  — длина стороны квадрата, м;

$q$  — запасы древесины в квадратах, н;

$n, k$  — порядковые номера квадратов.

Так как  $\Sigma q_n = \Sigma q_k$ , то суммарная грузовая работа по подвозке древесины к линии  $A-A$   $R_0 = R_n + R_p$  будет иметь минимальное значение, а, следовательно, желаемое положение магистрали в пределах полосы совпадает с линией  $A-A$ .

Аналогичным путем устанавливается положение магистрали и для других полос.

Линия, делящая полосу (лесной массив) на две равные части, по трудности освоения носит название *экономической оси лесного массива*.

В тех случаях, когда сырьевая база представляет собой сплошной массив с относительно равномерным размещением запасов древесины, найденное указанным выше способом направление магистрали будет почти прямолинейным.

При неравномерном размещении запасов древесины по территории сырьевой базы направление магистрали рассмотренным способом может получиться очень ломаным. В таких случаях следует несколько спрямлять трассу, увеличивая тем самым расстояние вывозки по веткам.

Длина магистрали обычно определяется по плану местности или по данным полевых изысканий. Ориентировочно длину магистрали можно определить по формуле

$$l_m = \beta (l_{\text{воз}} - l_v - l_y), \quad (1-3)$$

где  $l_{\text{воз}}$  — расстояние от пункта примыкания по направлению экономической оси лесного массива до конца сырьевой базы;

$l_v$  — средняя длина ветки;

$l_y$  — средняя длина уса;

$\beta$  — коэффициент удлинения пути, принимаемый в равнинной местности 1,05—1,10, в холмистой — 1,10—1,15, в горной — 1,15—1,20.

Отходящие от магистрали ответвления (ветки) размещаются с учетом рельефа местности, почвенно-грунтовых условий, способа лесоэксплуатации и других факторов. Наиболее выгодный угол примыкания ветки к магистрали определяется из выражения

$$\cos \alpha = \frac{C_m}{C_v}, \quad (1-4)$$

где  $C_m$  — стоимость единицы транспортной работы на магистрали;

$C_v$  — стоимость единицы транспортной работы на ветке.

Как показывают расчеты,  $\cos \alpha$  колеблется от 0,5 до 0,83, что соответствует углу  $\alpha = 1,0 - 0,6$  рад.

Расстояние между ветками устанавливается, исходя из минимальных затрат на постройку веток и усов, а также на трелевку и вывозку леса по усам.

При этом используется формула

$$d_b = \sqrt{\frac{T v_y Q_p (K_b - K_y) 36}{Q_{ra}}} \text{ км}, \quad (1-5)$$

где  $T$  — продолжительность рабочей смены, час;

$Q_p$  — объем древесины, перевозимой автомобилем за один рейс,  $m^3$ ;

$Q_{ra}$  — средний запас древесины,  $m^3/га$ ;

$v_y$  — скорость движения автомобиля по усам, м/сек;

$K_b$ ,  $K_y$  — затраты труда на постройку одного метра ветки, уса, чел.-дней/м.

Для веток круглогодового действия  $K_b = 0,4 - 0,8$ , для сезонного  $K_b = 0,2 - 0,3$ . Для усов значение  $K_y$  колеблется от 0,05 до 0,25.

В зависимости от стоимости строительства и запаса древесины расстояние между ветками приведено в табл. 1-1.

Таблица 1-1

Затраты на строительство 1 км ветки, тыс. руб.	Расстояние между ветками (км) при запасе древесины, $m^3/га$		
	50—80	80—120	120—180
12	8,5—6,5	6,5—5,5	5,5—4,5
10	7,5—6,0	6,0—5,0	5,0—4,0
8	7,0—5,5	5,5—4,5	4,5—3,5
6	6,0—5,0	5,0—4,0	4,0—3,0
5	5,5—4,5	4,5—3,5	3,5—2,5
4	5,0—4,0	4,0—3,0	3,0—2,5
3	4,0—3,5	3,5—2,5	2,5—2,0
2	3,5—2,5	3,0—2,0	2,0—1,5

На размещение автомобильных дорог в лесном массиве оказывают влияние также способы рубок и очередность освоения лесного массива.

Необходимо различать следующие схемы транспортного освоения:

1. Строительство лесовозной магистрали от пункта примыкания в глубь лесного массива ведется последовательно. Ежегодно она удлиняется на величину, обеспечивающую необходимый фронт работ.

2. Магистрали прокладывают сразу на значительное протяжение в глубь лесного массива. Лесозаготовки проводятся непосредственно вдоль магистрали в первые годы эксплуатации и на удаленных от магистрали участках в последующие годы.

3. Территория лесосырьевой базы разделяется на зоны со сроком эксплуатации 10—15 лет. Освоение каждой зоны производится раздельно.

4. Лесные массивы покрываются постоянно действующей сетью автомобильных дорог. Заготовка леса ведется выборочным путем.

Для определения оптимального расстояния между усами существуют [45] формулы М. М. Корунова, С. А. Сыромятникова, В. В. Щелкунова и др. Относятся они преимущественно к условиям равнинного рельефа местности и концентрированных рубок. Одной из них является

$$d_y = \sqrt{\frac{C}{100\alpha Q_{ra} K \gamma g}} \text{ км}, \quad (1-6)$$

где  $C$  — средняя стоимость постройки 1 км уса с погрузочными площадками, руб.;

$\alpha$  — коэффициент учета средней дальности трелевки; при расположении пасечных волоков перпендикулярно усу  $\alpha = 0,25$ ; радиально по отношению к погрузочному пункту —  $\alpha = 0,37$ ; пасечные волоки расположены перпендикулярно усу, а магистральные — параллельно —  $\alpha = 0,5$ ; магистральные волоки расположены по диагонали —  $\alpha = 0,4$ ;

$K$  — стоимость единицы грузовой работы на трелевке леса, руб./Мдж;

$\gamma$  — объемная масса древесины,  $Mg/m^3$ ;

$g$  — ускорение земного притяжения,  $m/сек^2$ .

Численное значение  $K$  можно определить на основании зависимости

$$K = \frac{2000D}{T_{cm}Q_p v_{cp,s}} \text{ руб/Мдж}, \quad (1-7)$$

где  $D$  — стоимость машино-смены трактора, руб.;

$Q_p$  — рейсовая нагрузка на трактор, кн;

$T_{cm}$  — продолжительность смены, сек;

$v_{cp,s}$  — средняя эксплуатационная скорость движения трактора,  $m/сек$ .

## 1—2. ПРОТЯЖЕННОСТЬ ВЕТОК И УСОВ

Протяженность веток и усов при транспортном освоении лесного массива зависит от способа рубок, объема заготовок и некоторых других факторов.

При концентрированном отводе лесосек необходимая протяженность веток определяется по формуле

$$L_{\text{в}} = \frac{\beta Q_{\text{в}}}{100Q_{\text{ра}}d_{\text{в}}} \text{ км}, \quad (1-8)$$

где  $Q_{\text{в}}$  — объем древесины, проектируемый для перевозки по веткам,  $\text{м}^3$ ;

$d_{\text{в}}$  — расстояние между ветками,  $\text{км}$ .

Протяженность усов в этом случае вычисляется из соотношения

$$L_y = \frac{\beta Q_y}{100Q_{\text{ра}}d_y} \text{ км}, \quad (1-9)$$

где  $Q_y$  — объем древесины, проектируемый для перевозки по усам,  $\text{м}^3$ ;

$d_y$  — расстояние между усами,  $\text{км}$ .

Для условий концентрированных рубок оптимальная протяженность на 1 га по исследованиям М. М. Корунова [45] выражается формулой

$$y = \sqrt{\frac{10\alpha KV\gamma g}{b + t}} \text{ м/га}, \quad (1-10)$$

где  $\alpha$  — коэффициент учета средней дальности трелевки;

$K$  — себестоимость единицы работы на трелевке древесины,  $\text{руб}/\text{кдж}$ ;

$V$  — средний объем древесины ( $\text{м}^3$ ), заготавливаемой с 1 га в год;

$g$  — ускорение земного притяжения,  $\text{м/сек}^2$ ;

$b$  — себестоимость постройки, ремонта и содержания дороги и погрузочных площадок, отнесенная к единице длины уса,  $\text{руб}/\text{м}$ ;

$t$  — затраты на лесовосстановительные работы, отнесенные к 1 м длины уса,  $\text{руб}/\text{м}$ ;

$\gamma$  — объемная масса древесины,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Зная оптимальную протяженность усов (10), определим ежегодную потребность в строительстве усов из выражения

$$Y_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{год}}y}{10^3V} \text{ км}, \quad (1-11)$$

где  $Q_{\text{год}}$  — заданный годовой объем производства,  $\text{м}^3$ .

По исследованиям Белорусского технологического института имени С. М. Кирова (Н. Ф. Ковалев, К. Б. Абрамович) необходимая протяженность усов в лесах II группы должна определяться с учетом состава насаждения, способа рубок, сроков примыкания, расстояний между ветками и усами, эксплуатационного запаса древесины на 1 га и т. д.

Расчетные формулы протяженности усов в лесах II группы при сплошно-лесосечном способе рубок приведены в табл. 1—2, а при постепенных рубках — в табл. 1—3. Используя эти формулы, можно определить длину усов, которые необходимо строить в разные годы эксплуатации лесного массива.

Таблица 1—2

Годы эксплуатации	Хвойные насаждения (срок примыкания 3 года)	Лиственные насаждения (срок примыкания 2 года)
1	$L_{y(1)} = \left[ \frac{50Q(d_b - d_y)}{Q_{ra}d_b d_y} + \frac{50l_n Q}{Q_{ra}d_y^2} \right] \alpha_1$	$L_{y(1)} = \left[ \frac{20Q}{Q_{ra}d_y} \left( \frac{d_b - d_y}{d_b} - \frac{l_n}{d_y} \right) \right] \alpha_1$
2	$L_{y(2)} = \left[ \frac{10Q}{Q_{ra}d_b} + \frac{50l_n Q}{Q_{ra}d_y^2} \right] \alpha_1$	$L_{y(2)} = 0$
3	$L_{y(3)} = \left[ \frac{10Q}{Q_{ra}d_b} + \frac{50l_n Q}{Q_{ra}d_y^2} \right] \alpha_1$	$L_{y(3)} = \left[ \frac{20Q}{Q_{ra}d_y} \left( \frac{d_b - d_y}{d_b} - \frac{l_n}{d_y} \right) \right] \alpha_1$
4	$L_{y(4)} = 0$	$L_{y(4)} = 0$
5	$L_{y(5)} = \left( \frac{50l_n Q}{Q_{ra}d_y^2} \right) \alpha_1$	$L_{y(5)} = \left[ \frac{20Q}{Q_{ra}d_y} \left( \frac{d_b - d_y}{d_b} - \frac{l_n}{d_y} \right) \right] \alpha_1$

Обозначения:  $d_b (d_y)$  — расстояние между ветками (усами),  
км;

$l_n$  — длина разворотной петли (кольца),  
км;

$Q$  — годовое задание по заготовке  
и вывозке леса, м<sup>3</sup>;

$Q_{ra}$  — запас древесины на 1 га, м<sup>3</sup>;

$\alpha_1 = 1 - \frac{y'}{y}$  — коэффициент, учитывающий нали-  
чие дорог на территории сырье-  
вой базы;

$y'$  — имеющаяся густота дорог в мас-  
сиве;

$y$  — требуемая оптимальная густота  
дорожной сети;

$L_{y(n)}$  — длина усов, м.

Таблица 1—3

Годы эксплуатации	Длина усов при периодичности приемов		
	3 года	4 года	5 лет

## Постепенные 2-приемные рубки

1	$L'_{y(1)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L''_{y(1)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L'''_{y(1)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
2	$L'_{y(2)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L''_{y(2)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L'''_{y(2)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
3	$L'_{y(3)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L''_{y(3)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L'''_{y(3)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
4	$L'_{y(4)} = 0$	$L''_{y(4)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L'''_{y(4)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
5	$L'_{y(5)} = 0$	$L''_{y(5)} = 0$	$L'''_{y(5)} = 40x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
Сумма за 10 лет	$\sum_1^{10} L'_y = 240x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$\sum_1^{10} L''_y = 240x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$\sum_1^{10} L'''_y = 200x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$

## Постепенные 3-приемные рубки

1	$L'_{y(1)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L''_{y(1)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L'''_{y(1)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
2	$L'_{y(2)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L''_{y(2)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L'''_{y(2)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
3	$L'_{y(3)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L''_{y(3)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L'''_{y(3)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
4	$L'_{y(4)} = 0$	$L''_{y(4)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$L'''_{y(4)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
5	$L'_{y(5)} = 0$	$L''_{y(5)} = 0$	$L'''_{y(5)} = 60x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$
Сумма за 10 лет	$\sum_1^{10} L'_y = 240x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$\sum_1^{10} L''_y = 240x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$	$\sum_1^{10} L'''_y = 300x_1 \frac{Q}{Q_{ra}}$

### 1—3. ОСНОВНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Для оценки и сравнения условий работы автомобильного лесотранспорта различных участков или предприятий существует система измерителей. Основными из них являются следующие измерители.

1. **Грузооборот дороги** — количество древесины, перевозимой по дороге в единицу времени (год, сутки и т. д.). Годовой грузооборот магистрали определяется как сумма грузооборотов веток (погрузочных пунктов):

$$Q_{\text{год}} = \Sigma q_{\text{в}} \text{ м}^3/\text{год}, \quad (1-12)$$

где  $q_{\text{в}}$  — годовой грузооборот отдельных веток.

В зависимости от величины годового грузооборота магистрали автомобильных лесовозных дорог разделяются на следующие категории:

I категория при  $Q_{\text{год}} \geq 500$  тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

II категория при  $Q_{\text{год}} = 151-500$  тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

III категория при  $Q_{\text{год}} \leq 150$  тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$ .

2. **Грузовая (транспортная) работа** — произведение веса перевозимой древесины в ньютонах на расстояние вывозки в километрах:

$$R = P_1 l_1 + P_2 l_2 + \dots + P_{n-1} l_{n-1} + P_n l_n \text{ кдж}, \quad (1-13)$$

где  $P_n$  — вес древесины, перевозимой с погрузочного пункта  $n$ ,  $n$ ;

$l_n$  — действительное расстояние от погрузочного пункта до нижнего склада, км.

3. **Средневзвешенное расстояние вывозки** (средневзвешенный пробег) определяется по формуле

$$l_{\text{ср}} = \frac{R}{\gamma g Q} \text{ км}, \quad (1-14)$$

где  $\gamma$  — объемная масса древесины,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$g$  — ускорение земного притяжения,  $\text{м}/\text{сек}^2$ ;

4. **Средневзвешенный грузооборот** (густота движения)

$$T = \frac{R}{\gamma g l_{\text{ср}}} \text{ м}^3/\text{год}. \quad (1-15)$$

5. **Удельный грузооборот дороги**

$$d = \frac{Q}{L} \text{ м}^3/\text{м}. \quad (1-16)$$

6. **Коэффициент пробега**, характеризующий степень использования транспортных путей,

$$\alpha = \frac{l_{\text{ср}}}{L}. \quad (1-17)$$

7. **Коэффициент разветвленности (развития) дорожно-транспортной сети**

$$m = \frac{L}{l_{\text{ср}}}, \quad (1-18)$$

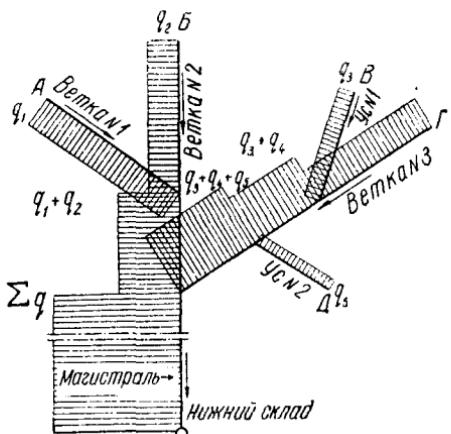
где  $L$  — общая протяженность эксплуатируемых дорог, м.

## 8. Коэффициент удлинения дорожной трассы

$$\beta = \frac{l_d}{l_0}, \quad (1-19)$$

где  $l_d$  — действительная длина трассы (дороги);

$l_0$  — кратчайшее расстояние (по воздуху) между рассматриваемыми точками.



$$\begin{aligned} T &= 7 \text{ час}; & K_b &= 0,6 \text{ чел.-дней}/\text{м}; \\ v_y &= 2,7 \text{ м/сек}; & K_d &= 0,3 \text{ чел.-дней}/\text{м}; \\ Q_p &= 15 \text{ м}^3; & Q_{ra} &= 150 \text{ м}^3/\text{га}. \end{aligned}$$

Подставляя исходные данные в формулу и производя вычисления, получим

$$d_b = \sqrt{\frac{7 \cdot 2,7 \cdot 15 (0,6 - 0,3) \cdot 36}{150}} = 4,5 \text{ км.}$$

Ответ. В заданных условиях расстояние между ветками  $d_b = 4,5 \text{ км.}$

**Пример 2.** Средний запас древесины осваиваемого лесного массива  $Q_{ra} = 180 \text{ м}^3/\text{га}$ . Трелевка леса трактором ТДТ-40 производится по пасечным волокам, расположенным перпендикулярно усу. Рейсовая нагрузка на трактор  $Q_p = 38 \text{ кн}$ , эксплуатационная скорость  $v_{cp,3} = 1,5 \text{ м/сек}$ . Стоимость машино-смены трактора  $D = 22 \text{ руб.}$ , а стоимость постройки 1 км уса  $C = 1500 \text{ руб.}$

Определить оптимальное расстояние между усами.

**Решение.** 1. По формуле (7) вычисляем стоимость единицы транспортной работы на трелевке леса:

$$K = \frac{2000D}{T_{cm}Q_p v_{cp,3}} = \frac{2000 \cdot 22}{7 \cdot 3600 \cdot 38 \cdot 1,5} = 0,03 \text{ руб./Мдж.}$$

2. Расстояние между усами определяется из выражения

$$d_y = \sqrt{\frac{C}{100 \cdot Q_{ra} \cdot K \cdot g}} = \sqrt{\frac{1500}{100 \cdot 0,25 \cdot 180 \cdot 0,03 \cdot 0,8 \cdot 9,81}} = 1,2 \text{ км},$$

где  $a = 0,25$  — при расположении волокон перпендикулярно усу;

$\gamma = 0,8 \text{ Мг/м}^3$  — объемная масса древесины;

$g = 9,81 \text{ м/сек}^2$  — ускорение земного притяжения.

Остальные данные приняты из условия задачи.

Ответ. Оптимальное расстояние между усами  $d_y = 1,2 \text{ км.}$

**Пример 3.** Эксплуатационная площадь лесосырьевой базы  $F = 100 \text{ км}^2$ , средний запас древесины  $Q_{ra} = 170 \text{ м}^3/\text{га}$ , местность равнинная. Исходя из наличия строительных материалов, под проектируемые автомобили МАЗ-500 на магистрали целесообразно применить гравийное покрытие, на ветках — грунто-гравийное и на усах — грунтовое оптимальной смеси. Эксплуатационные показатели трактора ТДТ-60 на трелевке леса следующие: рейсовая нагрузка  $Q_p = 50 \text{ кн}$ ; средняя скорость движения  $v_{cp,3} = 0,95 \text{ м/сек}$ ; стоимость машино-смены  $D = 18 \text{ руб.}$

Требуется рассчитать общую длину подъездных путей, необходимую для освоения этой сырьевой базы.

**Решение.** 1. Вычисляем расстояние между ветками, приняв затраты труда на постройку 1 км ветки с грунто-гравийным покрытием  $K_b = 0,8 \text{ чел.-дней}/\text{м}$  и на постройку уса  $K_y = 0,2 \text{ чел.-дней}/\text{м}$ , а также скорость движения по усу  $v = 2 \text{ м/сек}$  и объем пачки хлыстов  $Q_p = 18 \text{ м}^3$ :

$$d_{\text{в}} = \sqrt{\frac{TvQ_p(K_{\text{в}} - K_y)36}{Q_{\text{ра}}} = \sqrt{\frac{7 \cdot 2 \cdot 18 (0,8 - 0,2) \cdot 36}{170}} = 5,5 \text{ км.}}$$

2. Определяем стоимость единицы работы на трелевке леса

$$K = \frac{2000D}{T_{\text{см}}Q_p v_{\text{ср.з}}} = \frac{2000 \cdot 18}{7 \cdot 3600 \cdot 50 \cdot 0,95} = 2,70 \cdot 10^{-2} \text{ руб./Мдж.}$$

3. Расстояние между усами при радиальном расположении пасечных волоков ( $\alpha = 0,37$ ) и стоимости постройки 1 км уса  $C = 1,2$  тыс. руб. определится их выражения

$$d_y = \sqrt{\frac{C}{100zQ_{\text{ра}}K\gamma g}} = \sqrt{\frac{1200}{100 \cdot 0,37 \cdot 170 \cdot 0,027 \cdot 0,8 \cdot 9,81}} = 0,95 \text{ км.}$$

4. Принимаем  $d_y = 1$  км. Общий запас древесины рассматриваемой лесосырьевой базы равен

$$Q_{\text{общ}} = F \cdot Q_{\text{ра}} = 10000 \cdot 170 = 1,7 \text{ млн. м}^3.$$

5. Протяженность веток вычислим по формуле

$$L_{\text{в}} = \frac{\beta Q_{\text{в}}}{100Q_{\text{ра}} \cdot d_{\text{в}}} = \frac{1,10 \cdot 1700000}{100 \cdot 170 \cdot 5,5} = 20 \text{ км.}$$

где  $\beta = 1,1$  — коэффициент удлинения веток.

6. Протяженность усов равна

$$L_y = \frac{\beta Q_y}{100Q_{\text{ра}} \cdot d_y} = \frac{1,1 \cdot 1,7 \cdot 10^6}{100 \cdot 170 \cdot 1} = 110 \text{ км.}$$

7. Общая длина подъездных путей

$L_{\text{под}} = L_{\text{в}} + L_y = 20 + 110 = 130$  км, что соответствует густоте, равной 13 м/га.

Ответ. Для освоения лесосырьевой базы площадью 100 км<sup>2</sup> необходимо построить 130 км подъездных путей.

Пример 4. К автомобильной лесовозной дороге Н Минского леспромхоза тяготеет база с ликвидным запасом  $Q_{\text{общ}} = 200$  тыс. м<sup>3</sup> древесины. Средний запас хвойных насаждений  $Q_{\text{ра}} = 150$  м<sup>3</sup>/га. Срок эксплуатации лесного массива 10 лет.

Принимая расстояния между ветками  $d_{\text{в}} = 4$  км и между усами  $d_y = 1,0$  км, определить протяженность усов, которые необходимо построить в первый год эксплуатации.

Решение. 1. Объем производства для первого года эксплуатации равен

$$Q = \frac{Q_{\text{общ}}}{n} = \frac{200000}{10} = 20 \text{ тыс. м}^3.$$

2. Длина разворотной петли (кольца) при радиусе ее  $R = 30$  м может быть получена из выражения

$$l_{\text{п}} = 2\pi R = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,03 = 0,19 \text{ км.}$$

3. Протяженность усов в хвойных насаждениях (табл. 2) будет равна

$$L_{y(1)} = \frac{50(d_{\text{в}} - d_y)Q}{Q_{\text{ра}}d_{\text{в}}d_y} + \frac{50l_{\text{п}}Q}{Q_{\text{ра}}d_y^2} = \frac{50 \cdot (4 - 1) \cdot 20 \cdot 10^3}{150 \cdot 4 \cdot 1} + \\ + \frac{50 \cdot 0,19 \cdot 20 \cdot 10^3}{150 \cdot 1^2} = 6270 \text{ м.}$$

**Ответ.** Для выполнения плана заготовки и вывозки леса в объеме 20 тыс.  $m^3$  необходимо построить 6,27 км усов.

**Пример 5.** Заготовку леса в объеме  $Q = 50$  тыс.  $m^3/\text{год}$  планируется производить способом постепенных 3-приемных рубок. Эксплуатационный запас древесины  $Q_{ra} = 120 m^3/\text{га}$ . Периодичность приемов 3 года.

Какую протяженность усов необходимо построить в течение первого года эксплуатации, чтобы густота дорог повысилась в четыре раза и достигла 12 м/га?

**Решение.** 1. Определяем коэффициент, учитывающий наличие дорог на территории сырьевой базы:

$$\alpha_1 = 1 - \frac{y'}{y} = 1 - \frac{3}{12} = 0,75.$$

2. Протяженность усов для заданных условий (табл. 3) определяется по формуле

$$L'_{y(1)} = 60\alpha_1 \frac{Q}{Q_{ra}} = 60 \cdot 0,75 \frac{50000}{120} = 18750 \text{ м.}$$

**Ответ.** В течение первого года эксплуатации на территории сырьевой базы необходимо построить 18,75 км усов.

**Пример 6.** Годовое задание по вывозке леса с погрузочных пунктов (A, Б, В) на нижний склад (Н) составляет:  $Q_A = 20$  тыс.  $m^3$ ;  $Q_B = 15$  тыс.  $m^3$ ;  $Q_V = 30$  тыс.  $m^3$ . Протяженность отдельных участков дороги (рис. 1—4, а) составляет:  $l_1 = 10 \text{ км}$ ;  $l_2 = 2 \text{ км}$ ;  $l_3 = 6 \text{ км}$ ;  $l_4 = 4 \text{ км}$ ;  $l_5 = 7 \text{ км}$ .

Рассчитать основные измерители лесотранспорта.

**Решение.** 1. Годовой грузооборот дороги определяется как сумма грузооборотов отдельных погрузочных пунктов:

$$Q_{\text{год}} = Q_A + Q_B + Q_V = (20 + 15 + 30) \cdot 10^3 = 65 \text{ тыс. } m^3.$$

## 2. Транспортная работа

$$\begin{aligned} R &= \gamma g [Q_A(l_1 + l_2 + l_3) + Q_B(l_1 + l_2 + l_3) + Q_V(l_1 + l_5)] = \\ &= 0,8 \cdot 9,81 \cdot 10^8 [20(10 + 2 + 4) + 5(10 + 2 + 6) + \\ &+ 30(10 + 7)] = 8650 \cdot 10^9 \text{ дж} = 8650000 \text{ Мдж} = 8650 \text{ Гдж}, \end{aligned}$$

где  $\gamma = 0,8$  — объемная масса древесины.

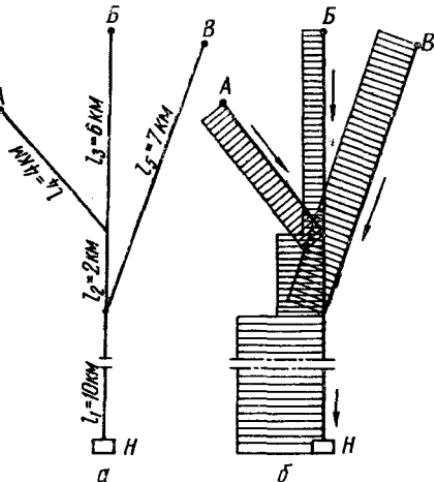


Рис. 1—4. Схема транспортных путей и график грузопотоков

### 3. Средневзвешенное расстояние вывозки

$$l_{cp} = \frac{R}{\Sigma P} = \frac{8650 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 9,81 \cdot 10^9 (20 + 15 + 30)} = 16950 \approx 17 \text{ км},$$

где  $P$  — вес перевозимой древесины,  $н.$

### 4. Средневзвешенный грузооборот дороги

$$T = \frac{R}{\gamma g l_{cp}} = \frac{8650 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 9,81 \cdot 17 \cdot 10^3} = 65 \text{ тыс. } m^3.$$

### 5. Удельный грузооборот дороги

$$d = \frac{Q_{год}}{L} = \frac{65000}{29000} = 2,24 \text{ } m^3/m.$$

### 6. Коэффициент пробега

$$\alpha = \frac{l_{cp}}{L} = \frac{17}{29} = 0,59.$$

### 7. Коэффициент разветвления транспортных путей

$$m = \frac{L}{l_{cp}} = \frac{29}{17} = 1,7.$$

По данным настоящего примера построение графика грузопотоков не представляет трудностей (рис. 1—4, б). Выбрав масштаб грузооборота, например  $1 \text{ см} = 30 \text{ тыс. } m^3$ , в

точке А откладываем ординату  $6,7 \text{ мм}$ , в точке Б —  $5 \text{ мм}$  и в точке В —  $10 \text{ мм}$ . Так как промежуточных погрузочных пунктов в данном примере нет, то отложенные ординаты на участках дороги  $l_4$ ,  $l_3$ ,  $l_5$  будут постоянными. На участке  $l_2$  сливаются грузопотоки  $Q_A$  и  $Q_B$ , а поэтому ордината будет равна сумме  $6,7 + 5,0 = 11,7 \text{ мм}$ . На участке  $l_1$  ордината еще увеличится на  $10 \text{ мм}$  и будет равна сумме  $6,7 + 5,0 + 10 = 21,7 \text{ мм}$ .

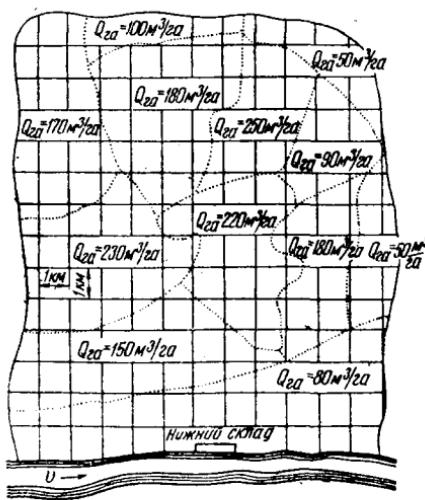


Рис. 1—5. Сыревая база автомобильной лесовозной дороги

обозначены запасы древесины и нижний склад, определить положение экономической оси.

### 1—5. ЗАДАЧИ

1. Используя схему сырьевой базы рис. 1—5, где нанесена квартальная сетка,

Нанести варианты размещения магистрали автомобильной лесовозной дороги и вычислить основные ее характеристики.

2. Вывозка леса производится автомобилями МАЗ-200. Средняя скорость движения автомобилей на ветке  $v_b = 3 \text{ м/сек}$ , а на магистрали  $v_m = 5 \text{ м/сек}$ . При каком угле примыкания веток к магистрали суммарные лесотранспортные затраты будут минимальными?

3. Эксплуатационная площадь сырьевой базы  $F = 200 \text{ км}^2$ , ликвидный запас древесины  $Q = 3 \text{ млн. м}^3$ . Трудозатраты на постройку 1 км ветки круглогодового действия составляют 500 чел.-дней, а на постройку 1 км усов — 200 чел.-дней. Объем пачки хлыстов, перевозимых автомобилем МАЗ-501 с роспуском 2-Р-15, равен 20 м<sup>3</sup>. Полное сопротивление движению поезда на усах 24 кн.

Определить расстояние между ветками.

4. Определить протяженность веток, если известно, что местность слабо холмистая, тяготеющая к веткам площадь  $F = 20 \text{ тыс. га}$  и расстояние между ветками  $d_b = 5 \text{ км}$ .

5. Вычислить расстояние между грунтовыми усами, приняв за исходные следующие данные: стоимость постройки 1 км уса  $C = 1 \text{ тыс. руб.}$ , запас древесины на гектаре 200 м<sup>3</sup>, рейсовая нагрузка на трелевочный трактор ТДТ-40 М равна 30 кн, средняя эксплуатационная скорость трактора  $v_{cp.s} = 0,8 \text{ м/сек}$ , стоимость тракторо-смены  $D = 15 \text{ руб.}$ , коэффициент учета средней дальности трелевки  $\alpha = 0,25$ .

Установить, как изменится расстояние между усами, если стоимость 1 км уса увеличится в два-три раза.

6. Определить длину усов, необходимую для транспортного освоения лесосырьевой базы площадью 1000 га с эксплуатационным запасом 120 тыс. м<sup>3</sup>, если известно, что расстояние между усами 600 м.

7. На территории лесосырьевой базы площадью 16 тыс. га и ликвидным запасом 2 млн. м<sup>3</sup> построена транспортная сеть, состоящая из магистрали, веток и усов. Длина магистрали составляет 20 км, веток 32 км и усов 180 км.

Чему равна удельная протяженность дорог?

8. Расстояние между ветками постоянное. Угол примыкания веток к магистрали изменяется от  $\frac{\pi}{4}$  до  $\frac{\pi}{2}$ . Определить изменение общей длины веток по мере увеличения угла примыкания.

9. Определить оптимальную протяженность усов, необходимую для вывозки леса, заготавливаемого в количестве 50 м<sup>3</sup>/га, при промежуточных рубках. Стоимость постройки и эксплуатации 1 км уса 0,9 тыс. руб., а стоимость 1 Мдж транспортной работы при трелевке 3 коп. Коэффициент учета средней дальности трелевки  $\alpha = 0,4$ .

10. Расчетный годовой грузооборот дороги  $Q_{\text{год}} = 140$  тыс.  $m^3$ . Эксплуатационный запас древесины на 1 га в среднем составляет 175  $m^3$ . Какое количество усов необходимо построить для выполнения этого производственного задания, если известно, что удельная протяженность усов равна 10  $m/\text{га}$ ?

11. Машинно-дорожный отряд ЛЗП в течение года наряду с другими работами может построить 20 км усов. Для правильной организации технологического процесса густота дорожной сети должна быть равна 10  $m/\text{га}$ . Рубки леса постепенные. За один прием вырубается 60  $m^3/\text{га}$ .

Какой годовой объем производства необходимо установить этому лесозаготовительному предприятию?

12. Определить протяженность усов, которые необходимо построить в хвойных (срок примыкания 3 года) лесах II группы при сплошно-лесосечном способе рубок, если годовой объем производства  $Q = 80$  тыс.  $m^3$ , запас древесины  $Q_{\text{га}} = 180 m^3/\text{га}$ , расстояние между ветками  $d_v = 5 \text{ км}$ , расстояние между усами  $d_y = 1,2 \text{ км}$  и длина разворотного кольца  $l_p = 125 \text{ м}$ . То же в лиственных насаждениях со сроком примыкания 2 года.

13. Определить густоту усов в лесонасаждениях, где в течение 10 лет проводились 2-приемные постепенные рубки. Периодичность приемов 5 лет, ежегодный объем производства 60 тыс.  $m^3$  и запас на 1 га 120  $m^3$ .

14. Лесная площадь  $N$  лесхоза составляет 300  $\text{км}^2$ . Средний прирост древесины в год 4  $m^3/\text{га}$ . Определить ежегодные потери древесины, которые будут в результате постройки в лесу сети однопутных дорог густотой 15  $m/\text{га}$ .

15. Для освоения лесного массива площадью 100  $\text{км}^2$  построена магистраль длиной 25 км и 4 ветки по 4 км каждая. Определить, чему равняется коэффициент развития дорожно-транспортной сети и удельная протяженность дорог.

16. Трасса лесовозной дороги характеризуется данными:

$$\frac{\text{ЮЗ : } 0,4 \text{ рад}}{1200}; \quad \frac{\text{ЮЗ : } 0,1 \text{ рад}}{1550}; \quad \frac{\text{ЮЗ : } 0,75 \text{ рад}}{2870}; \quad \frac{\text{ЮЗ : } 1,4 \text{ рад}}{3720};$$

$$\frac{\text{СЗ : } 1,3 \text{ рад}}{2100}; \quad \frac{\text{СЗ : } 1,5 \text{ рад}}{1680}.$$

Радиус закругления 100 м. Начертить план трассы. Определить строительную длину дороги и коэффициент удлинения трассы.

17. Определить средний годовой грузооборот лесовозной дороги, если известно, что эксплуатационный запас сырьевой базы, тяготеющей к дороге, равен 2 млн.  $m^3$ , ликвидный выход древесины 95%, число лет эксплуатации дороги 12.

18. В трех пунктах лесовозной дороги ежедневно отгру-

жаются по  $200 \text{ м}^3$  древесины. Отгруженная на подвижной состав древесина вначале транспортируется по веткам, а затем по магистрали. Определить годовой грузооборот веток и магистрали.

19. Автомобильная лесовозная дорога в году используется для вывозки леса 280 дней. На магистрали этой дороги расположены три погрузочных пункта: на 18-м км с суточным заданием  $150 \text{ м}^3$ , на 25-м км с суточным заданием  $180 \text{ м}^3$  и на 30-м км с суточным заданием  $200 \text{ м}^3$ .

Чему равняются суточная и годовая грузовые работы?

20. Годовой грузооборот погрузочных пунктов А = 80 тыс.  $\text{м}^3$ ; В = 65 тыс.  $\text{м}^3$ ; С = 55 тыс.  $\text{м}^3$ . От нижнего склада они находятся соответственно на расстоянии 24, 18, 27 км. Чему равняется грузовая работа дороги?

21. На базе автомобильной лесовозной дороги работают четыре мастерских участка с годовым заданием 28 тыс.  $\text{м}^3$ , 27 тыс.  $\text{м}^3$ , 35 тыс.  $\text{м}^3$  и 18 тыс.  $\text{м}^3$ . От нижнего склада эти участки удалены соответственно на 15, 17, 19, 18 км.

Определить средневзвешенное расстояние вывозки, средневзвешенный грузооборот и удельный грузооборот дороги.

22. При годовом производственном задании 150 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$  грузовая работа равна 21,2 Гдж, а средневзвешенное расстояние — 18 км. На сколько километров необходимо уменьшить средневзвешенное расстояние, чтобы при прежней грузовой работе грузооборот дороги можно было увеличить на 30%?

23. Длина магистрали веток и усов соответственно равна 12, 15 и 6 км. Требуется определить коэффициент разветвленности дорожнотранспортной сети.

24. Транспортное освоение лесосырьевой базы осуществляется при помощи магистрали, веток и усов. Общая протяженность сети 100 км, а коэффициент разветвленности ее  $m = 2,5$ .

Определить средневзвешенное расстояние вывозки и степень использования транспортных путей.

25. Кратчайшее расстояние между точками А и Б равно 40 км. Проложенная между этими точками трасса оказалась равной 42 км. Определить коэффициент удлинения трассы, сравнить его с допускаемой величиной.

26. Для схемы дорожной сети, представленной на рис. 1—6, начертить график грузопотоков по данным:

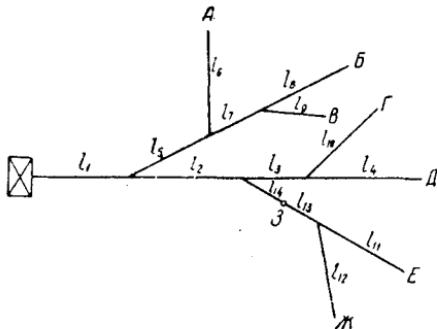


Рис. 1—6. Схема дорожной сети

Варианты	Годовой грузооборот по- грузочного пункта, тыс. м <sup>3</sup>							Длина участков дороги, км														
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	<i>l<sub>1</sub></i>	<i>l<sub>2</sub></i>	<i>l<sub>3</sub></i>	<i>l<sub>4</sub></i>	<i>l<sub>5</sub></i>	<i>l<sub>6</sub></i>	<i>l<sub>7</sub></i>	<i>l<sub>8</sub></i>	<i>l<sub>9</sub></i>	<i>l<sub>10</sub></i>	<i>l<sub>11</sub></i>	<i>l<sub>12</sub></i>	<i>l<sub>13</sub></i>	<i>l<sub>14</sub></i>
I	5	15	—	20	10	—	30	—	10	0	8	5	4	7	2	9	0	3	8	6	5	3
II	10	—	40	—	20	50	—	30	12	2	4	4	8	3	4	0	7	0	4	0	4	7
III	8	16	—	32	—	24	20	—	15	5	6	0	6	5	5	7	0	6	8	4	7	5
IV	—	35	25	—	15	—	5	10	5	10	0	7	2	0	8	3	5	9	0	6	8	2

27. Принимая за исходные варианты дорожной сети и грузооборота из предыдущей задачи, рассчитать основные измерители лесотранспорта.

Дать анализ полученных величин и сравнение их с соответствующими измерителями, имеющими место в практике лесотранспорта.

## ГЛАВА ВТОРАЯ

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ В ПЛАНЕ

Проектирование плана автомобильных лесовозных дорог связано с расчетом трассы, определением ширины дороги, проверкой видимости, решением многих других вопросов.

От величины основных характеристик плана дороги во многом зависят стоимость строительства, эксплуатационные показатели и безопасность движения. В свою очередь характеристики плана дороги находятся в тесной связи с продольным и попечерным профилями. Рассматривать план дороги в отрыве от ее профилей можно лишь при решении отдельных частных задач. При составлении полного проекта дороги все вопросы, связанные с определением ее параметров, необходимо решать в комплексе.

### 2—1. ТРАССИРОВАННЫЕ ДОРОГИ

Трасса представляет собой проекцию оси дороги на горизонтальную плоскость. Она состоит из прямых и кривых участков (рис. 2—1). Прямые участки характеризуются длиной линии и ее направлением (азимутом, или румбом)  $\left( \frac{l}{румб} \right)$ , а кривые — углом поворота и радиусом закругления. Работы по размещению трассы на местности или на плане и связанные с ними расчеты обычно называют *трассированием*.

При трассировании дороги необходимо учитывать [7] почвенно-грунтовые и гидрогеологические условия района, а также рельеф местности.

В зависимости от характера местности различают равнинный, холмистый и горный рельефы.

К равнинному рельефу относится местность, отличающаяся однообразием, отсутствием резко выраженных неровностей.

Общий уклон поверхности равнин бывает в пределах 0,001—0,00001.

**Холмистая** местность характеризуется наличием холмов, небольших возвышенностей, котловин, долин и других неровностей. Однако разница высот точек на местности не превышает 200 м.

К горной местности относятся районы, лежащие выше 500 м над уровнем моря. Чаще всего они представляют систему пря-

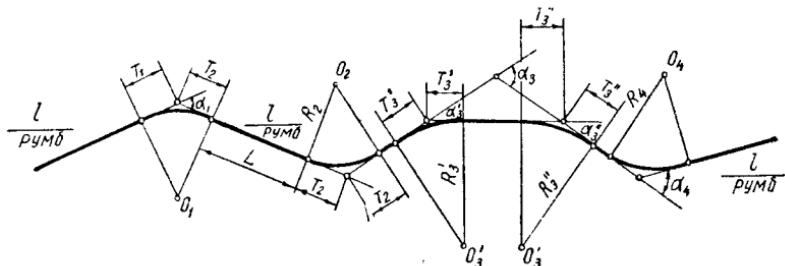


Рис. 2-1. План трассы

молинейных или дугообразных горных цепей, состоящих из отдельных хребтов и их отрогов, чередующихся с продольными и поперечными долинами. Общее колебание высот обычно более 200 м.

**Пересеченной** следует считать местность, изрезанную различными препятствиями — реками, озерами, болотами, оврагами, промоинами, канавами и др. Пересеченной может быть как равнинная, так и холмистая местность.

В зависимости от топографических условий следует различать долинные, водораздельные и поперечно-водораздельные ходы.

Под **долинным** ходом подразумевается участок трассы, расположенный по долине водотока. Долинные ходы бывают долинно-террасовые и долинно-косогорные.

Под **водораздельным** понимается участок трассы, расположенный непосредственно по водоразделу.

Под **поперечно-водораздельным** ходом трассы подразумевается участок, расположенный с пересечением водораздела.

В горной местности чаще всего проектируются долинные ходы, в равнинной — водораздельные.

По условиям использования руководящего уклона различают вольные и напряженные ходы. **Вольным ходом** называется такое трассирование, когда между двумя фиксированными точками уклоны местности в основном меньше допускаемых (руководящего, уравновешенного или другого ограничивающего).

Если же по прямому направлению между двумя фиксированными точками трассы уклоны местности больше допускаемых,

то трасса прокладывается *напряженным* ходом. При этом уклоны доводятся до необходимой величины за счет искусственного удлинения линии.

Расстояние между горизонталами на плане местности, при котором уклон трассы будет равен заданной величине, определяется из выражения

$$l = \frac{10^6 h}{m i_d} \text{мм}, \quad (2-1)$$

где  $h$  — сечение горизонталей, м;

$m$  — знаменатель масштаба плана (карты);

$i_d$  — допускаемый уклон: руководящий, уравновешенный, скоростной и др., ‰.

Определив расстояние  $l$ , циркулем делают засечки (рис. 2-2) горизонталей (точки 1, 2, 3 и т. д.) и по ним проводят линию ( $A-B$ ), имеющую на всем протяжении допускаемый уклон трассирования. Ориентируясь на эту линию, на карту наносят варианты трассы. Наиболее выгодный из них принимается для дальнейшего проектирования.

Радиусы круговых кривых в плане должны назначаться возможно большими. В нестесненных условиях их величина должна быть не менее:

на магистральных дорогах I, II и III категорий — 400 м,  
на усах, ветках и лесохозяйственных дорогах — 150 м.

В стесненных условиях разрешается применять меньшие радиусы, но не менее указанных в табл. 2-1.

Минимальное значение радиуса должно удовлетворять неравенству

$$R \geq \frac{v^2}{g(\varphi_2 \pm i)}, \quad (2-2)$$

где  $v$  — скорость движения автомобиля, м/сек;

$g$  — ускорение земного притяжения, м/сек<sup>2</sup>;

$\varphi_2$  — коэффициент сопротивления боковому сдвигу; при сухом покрытии  $\varphi_2 = 0,3-0,5$ , при мокром  $\varphi_2 = 0,15-0,30$ ;

$i$  — поперечный уклон проезжей части дороги.

Основные элементы круговых кривых (рис. 2-3) в зависимости от угла поворота  $\alpha$  (в радианах) и радиуса  $R$  (в метрах) вычисляются по формулам:

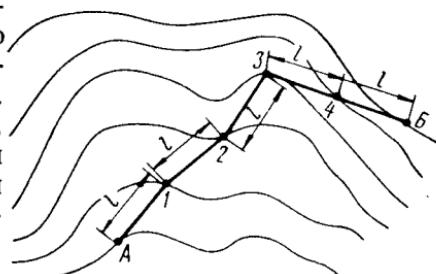


Рис. 2-2. Трассирование с заданным уклоном

Таблица 2—1

Виды дорог	Наименьшие радиусы кривых при вывозке, м		
	хлыстов и стволов с кроной	в сортиментах при рельефе	
		равнинном и холмистом	горном
Магистрали:			
I категории . . . . .	125	125	60
II категории . . . . .	60	60	30
III категории . . . . .	50	30	20
Ветки . . . . .	40	20	15
Усы и поворотные петли на нижних складах . . . . .	30	20	15
Дороги, не имеющие выраженного грузооборота . . . . .	—	20	15

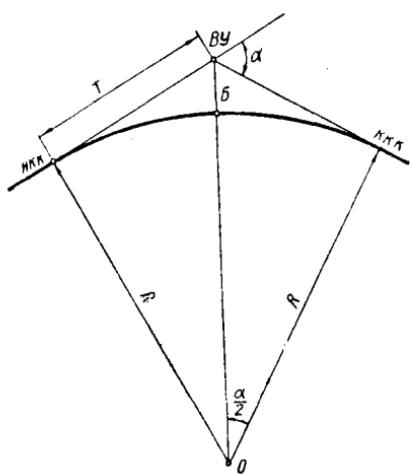


Рис. 2—3. Основные элементы круговой кривой

дорожный тангенс

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad (2-3)$$

кривая

$$K = R\alpha; \quad (2-4)$$

биссектриса

$$B = R \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right); \quad (2-5)$$

$$\text{домер } D = 2T - K. \quad (2-6)$$

Для определения положения начала и конца круговой кривой на трассе можно воспользоваться следующими выражениями:

начало круговой кривой:  
 $HKK = BY - T;$

конец круговой кривой:  $KKK = HKK + K$  или  $KKK = BY + T - D$ , где  $BY$  — вершина угла (пикет и плюс).

Детальная разбивка круговой кривой может быть произведена несколькими способами. Наиболее распространенным из них является способ прямоугольных координат.

Согласно этому способу, значение координат (рис. 2—4) определяется по формулам:

$$x = R \sin \varphi; \quad (2-7)$$

$$y = R(1 - \cos \varphi) = 2R \sin^2 \frac{\varphi}{2},$$

где  $\varphi$  — центральный угол в радианах, равный

$$\varphi = \frac{K}{R};$$

$K$  — расстояние от начала координат ( $O$ ) до рассматриваемой точки (2) по кривой.

Численное значение координат для детальной разбивки круговых кривых в зависимости от радиуса кривой и угла поворота можно найти также в справочниках [75].

Движение автомобиля по кривым во многом отличается от движения на прямом участке. На него действует центробежная

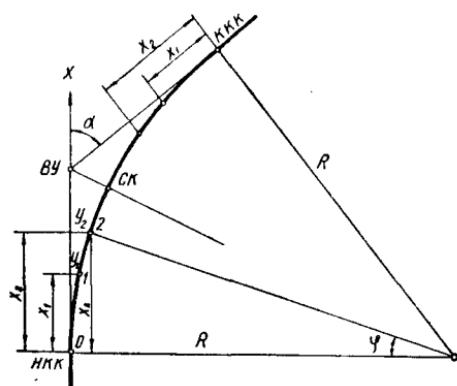


Рис. 2—4. Расчетная схема для определения координат точек кривой

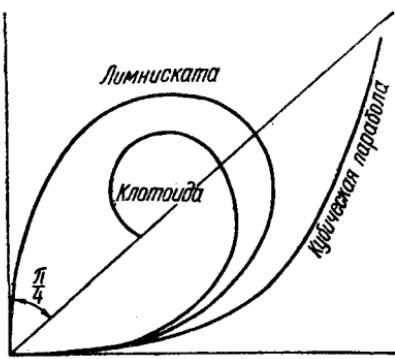


Рис. 2—5. Переходные кривые

сила, стремящаяся сдвинуть его по направлению от центра кривой, меняется траектория движения задних колес (роспуска) относительно передних, скорость вращения колес одной и той же оси и т. д.

Чтобы противостоять силам, которые возникают при переходе автомобиля с прямого участка на кривую и действуют при его движении по кривой, устраиваются переходные кривые, радиус которых меняется от  $\infty$  до  $R$ , возвышается наружная бровка над внутренней (строится вираж), расширяется проезжая часть дороги.

Переходные кривые применяются на магистральных дорогах при радиусах 250 м и менее и на ветках при радиусах 100 м и менее.

В качестве переходных кривых могут быть (рис. 2—5) клотоида, кубическая парабола, лимниската и другие кривые.

На автомобильных дорогах в качестве переходной кривой наибольшее распространение получила клоубида (радиоидальная спираль):

$$\rho = \frac{C}{S}, \quad (2-8)$$

где  $C = \frac{v^3}{I}$  — постоянная величина;

$S$  — длина кривой до рассматриваемой точки;

$v$  — скорость движения автомобиля, м/сек;

$I$  — величина нарастания ускорения от центробежной силы: для магистральных дорог  $I = 0,3—0,6 \text{ м/сек}^3$ , для веток  $I = 1,10—1,25 \text{ м/сек}^3$ .

Разбивку клоубиды можно произвести при помощи координат, которые вычисляются по формулам:

$$x \cong S - \frac{S^5}{40C^2} + \dots; \quad (2-9)$$

$$y \cong \frac{S^3}{6C} - \frac{S^7}{336C^3} + \dots$$

Минимальное расстояние между вершинами двух смежных углов (рис. 1) определяется по формулам:

а) при односторонних и обратных кривых, не имеющих виражей, а также при односторонних кривых, имеющих виражи с одинаковыми уклонами,

$$L \geq T_1 + T_2, \quad (2-10)$$

где  $T_1, T_2$  — тангенсы кривых;

б) при односторонних кривых, имеющих различные уклоны виражи,

$$L \geq T_1 + T_2 + \frac{b(|i'_B| - |i''_B|)}{i_{\text{от.в}}}, \quad (2-11)$$

где  $b$  — ширина проезжей части;

$|i'_B|, |i''_B|$  — абсолютная величина уклонов виражей;

$i_{\text{от.в}}$  — уклон отгона виража,  $10—20\%$ ;

в) при обратных кривых, имеющих виражи,

$$L \geq T_1 + T_2 + \frac{b}{i_{\text{от.в}}} (i'_B + i''_B). \quad (2-12)$$

При трассировании в горной местности часто приходится назначать острые углы поворотов. Разбивка кривых внутри угла поворота в этом случае сильно затрудняется, и поэтому закругление приходится располагать снаружи, т. е. устраивать серпантини [4]. Серпантини бывают 1-го и 2-го рода, симметричные и несимметричные, со сдвинутым центром и др.

Расчет простейшего вида серпантини можно проследить на приведенном ниже примере.

Основным документом трассирования является план. План трассы составляется в масштабе 1:10 000 для равнинной

и 1 : 2000 для горной местности. На него наносят прямые и кривые участки трассы с их элементами и ситуацию в пределах 100-метровой полосы. Вычисляются показатели плана: протяженность прямых и кривых в километрах и в процентах, протяженность кривых, запроектированных с минимальными и нормальными радиусами, средний радиус кривых и т. д.

## 2—2. ШИРИНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Ширина является одним из главнейших параметров автомобильных лесовозных дорог. От ее величины всецело зависят безопасность, скорость и организация движения автомобилей на дороге.

С увеличением ширины дороги улучшаются условия ее эксплуатации, увеличивается ее пропускная способность. Вместе

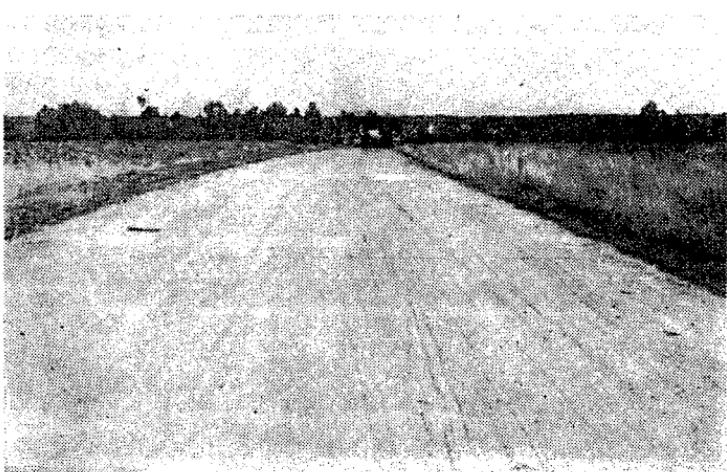


Рис. 2—6. Гравийная лесовозная дорога с двухполосной проездной частью

с тем увеличение ширины дороги резко увеличивает расход дорогостоящих и, как правило, дефицитных материалов, повышает затраты труда на строительство, увеличивает стоимость дороги.

Задачи обеспечения нормальной работы автомобильной лесовозной дороги в период ее эксплуатации в конкретных условиях того или иного лесозаготовительного предприятия и необходимость экономного расходования денежных и трудовых ресурсов на дорожное строительство обязывают работников лесотранспорта в каждом отдельном случае решать вопрос о ширине дороги.

При расчете ширины дороги на прямом участке пути необходимо решать задачи по определению числа полос движения, ширины проезжей части и величины обочин.



Рис. 2—7. Гравийная лесовозная дорога с однополосной проезжей частью

Двухполосную проезжую часть (рис. 2—6) на автомобильных лесовозных дорогах целесообразно применять лишь в том случае, когда соблюдается неравенство

$$(C_2 - C_1)(L - L_p) \leq \frac{S_b D Q_{\text{общ}}}{3,6 T_{\text{см}} Q_p v_{\text{ср. тех}}}, \quad (2-13)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — стоимость строительства 1 км дороги с однополосной и двухполосной проезжей частью, руб.;

$L$  — длина дороги, км;

$L_p$  — общая длина разъездов, км;

$S_b$  — среднее расстояние между разъездами, км;

$D$  — стоимость поездо-смены, руб.;

$Q_{\text{общ}}$  — общий эксплуатационный запас сырьевой базы, тяготеющий к данной дороге,  $m^3$ ;

$T_{\text{см}}$  — продолжительность смены, час;

$Q_p$  — рейсовая нагрузка на автомобиль,  $m^3$ ;

$v_{\text{ср. тех}}$  — среднетехническая скорость движения лесовозных автомобилей, м/сек.

В противном случае более выгодным является применение дороги с одной полосой движения (рис. 2—7).

Для пропуска двух встречных автомобилей в этом случае предусматриваются разъезды (рис. 2—8).

Длина разъездов принимается не менее 30 м. Ее можно вычислить также по формуле

$$l_p = l_m + 4\sqrt{aR}, \quad (2-14)$$

где  $l_m$  — длина груженого автомобильного поезда, м;

$a$  — расстояние между осями двух встречных автомобилей, м;

$R$  — минимальный радиус поворота груженого автомобиля, принимаемый равным 20—30 м.

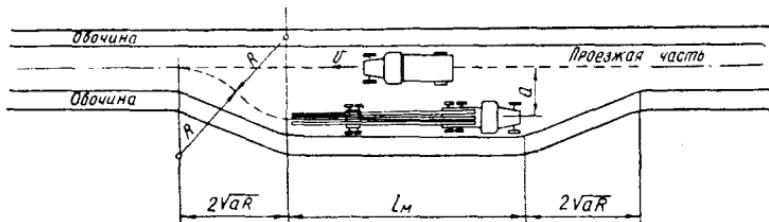


Рис. 2—8. Схема разъезда автомобильной лесовозной дороги

Разъезды размещаются в пределах видимости, но не далее 500 м друг от друга.

Ширина проезжей части зависит от типа дорожного покрытия, марки используемых автомобилей и числа полос движения на дороге.

Для однополосного сплошного покрытия (рис. 2—9, а) она определяется по формуле

$$b = C + n + 2m, \quad (2-15)$$

где  $C$  — ширина колеи автомобиля;

$n$  — ширина спаренных колес;

$m$  — расстояние от спаренных задних колес до кромки проезжей части, принимаемое обычно 0,2—0,4 м.

Вычисленное значение округляется с точностью до 0,5 м.

Для двухполосного сплошного покрытия (рис. 2—9, б) она равна

$$b = C + n + K + \varepsilon + 2m, \quad (2-16)$$

где  $K$  — габарит подвижного состава по ширине (ширина кузова);

$\varepsilon$  — расстояние между двумя встречными автомобилями;

$$C = C_1 = C_2.$$

Значение  $\varepsilon$  в зависимости от скоростей движения автомобилей [7] определяется по формуле

$$\varepsilon = 0,7 + 0,018(v_1 + v_2) \text{ м}, \quad (2-17)$$

где  $v_1, v_2$  — скорости движения автомобилей, м/сек.

Ширина колесопроводов колейного покрытия (рис. 2—9, *в*) вычисляется из выражения

$$b_k = n + 2x, \quad (2-18)$$

где  $n$  — ширина спаренных колес;

$x$  — расстояние от борта колеса до кромки колесопровода, определяемое в зависимости от скорости ( $м/сек$ ) из выражения  $x = 0,08 + 0,018v$   $м$ .

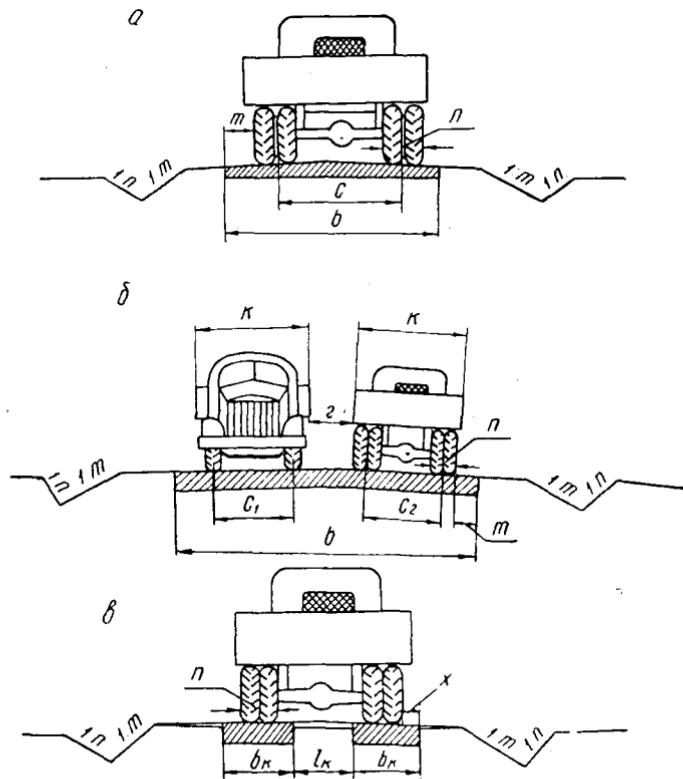


Рис. 2—9. Расчетные схемы для определения ширины проездной части

Расстояние между колесопроводами определяется по формуле

$$l_k = \frac{C_1 + C_2}{2} - b_k, \quad (2-19)$$

где  $C_1$  — ширина колеи передних колес;

$C_2$  — ширина колеи задних колес.

Вычислив ширину проезжей части (покрытия), можно перейти к определению ширины земляного полотна. Для сплошных покрытий она равна

$$B = b + 2a, \quad (2-20)$$

где  $a$  — ширина обочины.

Для колейных с одной полосой движения

$$B = 2b_k + l_k + 2a = 2(b_k + a) + l_k. \quad (2-21)$$

По данным Гипролесстранса [78], ширина земляного полотна и проезжей части на прямых участках автомобильных дорог лесозаготовительных предприятий должна назначаться согласно табл. 2—2.

Таблица 2—2

Виды дорог	Ширина, м					
	При равнинном и холмистом рельефе			При горном рельефе и других сложных условиях		
	земляного полотна	проезжей части	обочины	земляного полотна	проезжей части	обочины
Магистрали лесовозных дорог:						
I категории . . . . .	10,0	7,0	1,5	9,0	7,0	1,0
II категории . . . . .	8,0	6,0	1,0	8,0	6,0	1,0
III категории . . . . .	5,5	4,0	0,75	5,0	4,0	0,5
Лесовозные и лесохозяйственные ветки . . . . .	5,0	3,5	0,75	4,5	3,5	0,5
Усы и пожарные дороги . . . . .	4,5	3,5	0,5	4,0	3,0	0,5
Дороги хозяйственного значения .	6,5	3,5	1,5	4,5	3,5	0,5

Отклонение от табл. 2 допускается в том случае, когда ширина коника превышает 2,75 м или когда рельеф местности является особо сложным.

Зимние автомобильные лесовозные дороги проектируются, как правило, двухполосными. Ширина каждой полосы магистралей и основных веток принимается: в насыпях — 5 м и в выемках — 6 м. На усах ширина земляного полотна принимается: в насыпях — 4,5 м, в выемках — 5,5 м.

## 2—3. УШИРЕНИЕ ДОРОГИ НА КРИВЫХ

При движении по кривой автомобиль занимает на проезжей части большую ширину, чем по прямой. Вследствие этого проезжую часть на кривых необходимо уширять. Величина уширения зависит от радиуса закругления, способа вывозки леса, скорости движения и некоторых конструктивных параметров

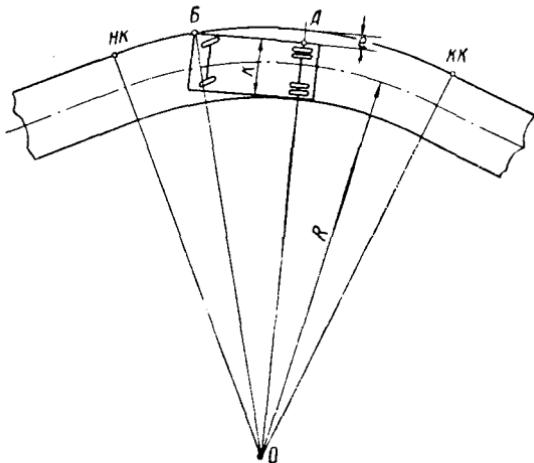


Рис. 2—10. Расчетная схема для определения уширения однополосной проезжей части дороги

подвижного состава. Определяется уширение на основании решения задач о вписывании подвижного состава в кривые. Причем вписывание может быть как по ходовой части, так и по габариту.

Уширение однополосной проезжей части (рис. 2—10), обеспечивающее вписывание одиночного автомобиля (по габариту), определяется по формуле

$$e = \sqrt{\left(R + \frac{K}{2}\right)^2 + L^2} - \left(R + \frac{K}{2}\right) + \frac{0.36v}{\sqrt{R}}, \quad (2-22)$$

где  $R$  — радиус круговой кривой, м;

$L$  — расстояние от задней оси до переднего буфера, м;

$v$  — скорость движения автомобиля, м/сек;

$K$  — габарит подвижного состава по ширине, м.

Уширение двухполосной проезжей части, согласно расчетной схеме, представленной на рис. 2—11, вычисляется по формуле

$$e = 2(R - \sqrt{R^2 - L^2}) + \frac{0.36v}{\sqrt{R}}. \quad (2-23)$$

Уширение однополосной проезжей части, исходя из статического вписывания автомобиля и роспуска при жестком их соединении, равно

$$e = R - \frac{K}{2} - \sqrt{\left( \sqrt{R^2 - L^2 - \frac{K}{2}} \right)^2 + a^2 - b^2}, \quad (2-24)$$

где  $a$  — расстояние между задней осью автомобиля и буксирным устройством;  
 $b$  — расстояние от буксирного прибора автомобиля до оси (балансира) роспуска.

Приближенное значение уширения для двухполосной проезжей части (рис. 2—12) численно равно удвоенной величине, найденной по формуле (24).

Перевозка древесины в хлыстах особо затрудняет вписывание в кривые. Свешивающаяся вершинная часть хлыстов при повороте автомобиля выходит на большое расстояние за пределы установленной полосы движения. На левых

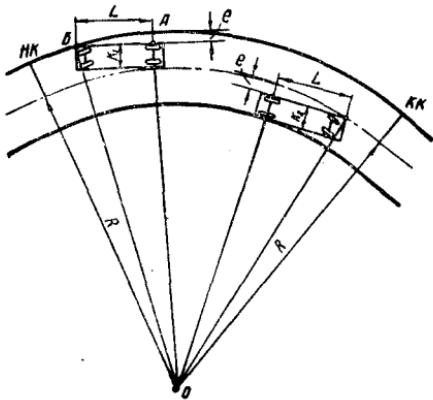


Рис. 2—11. Расчетная схема для определения уширения двухполосной проезжей части дороги

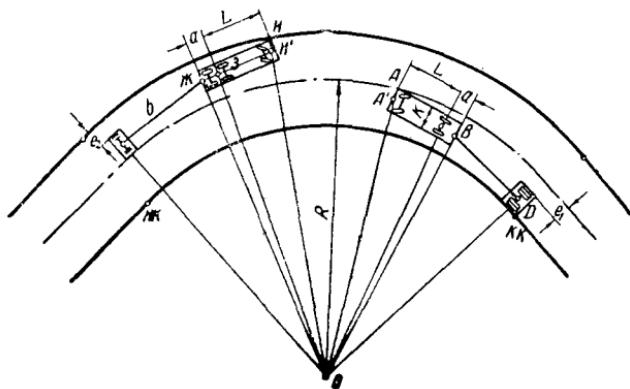


Рис. 2—12. Схема определения уширения проезжей части дороги для автомобилей с полуприцепами

поворотах она перекрывает обочину и даже боковые канавы, на правых — встречную полосу движения.

Величина заноса вершинной части хлыстов определяется по габариту поезда, исходя из геометрического вписывания:

$$\Delta_{\text{вер}} = \sqrt{R^2 - 2R\left(\frac{e}{2} + f\right) + \left(\frac{c}{2} + \Gamma\right)^2} - R, \quad (2-25)$$

где  $f$  — стрела выхода габарита полосы движения за внутреннюю кромку покрытия на середине между осями автомобиля и роспуска, м;

$c$  — расстояние между кониками автомобиля и роспуска, м;  
 $\Gamma$  — свес вершинной части хлыстов, м.

На правых поворотах значение  $\Delta_{\text{вер}}$  нельзя допускать больше 0,3—1,0 м. Если же по расчетам получается большая величина, то проезжую часть необходимо уширить (25) или устраивать раздельные полосы для движения груженого и порожнего автомобильного транспорта.

Нормативное значение уширения [78] проезжей части приведено в табл. 2—3.

Т а б л и ц а 2—3

Радиусы кривых, м	Величина уширения, м							
	Однополосные лесовозные и лесохозяйственные дороги		Двухполосные дороги (левый поворот)		Двухполосные дороги (правый поворот), вывозка в хлыстах (20—30 м)		Хозяйственные дороги	
	в сорти-ментах	в хлыстах 20—30 м	в сорти-ментах	в хлыстах 20—30 м	одно-полосные	дву-полосные	колесопроводов, колей-ных дорог	
15	2,2	—	—	—	—	1,3	2,6	—
20	1,6	—	3,3	—	—	1,0	2,1	—
30	1,1	1,4—2,3	2,2	—	—	0,8	1,5	—
40	0,9	1,1—1,8	1,8	—	—	0,7	1,3	—
50	0,7	0,8—1,5	1,5	1,7—2,2	—	0,6	1,1	0,6
60	0,6	0,7—1,3	1,3	1,4—1,9	—	0,5	1,0	0,5
80	0,5	0,6—1,0	1,0	1,1—1,5	—	0,5	0,9	0,4
100	0,4	0,5—0,8	0,8	0,9—1,2	1,5—2,9	0,4	0,8	0,4
125	0,4	0,4—0,7	0,7	0,8—1,1	1,3—2,5	0,4	0,7	0,3
150	0,3	0,3—0,6	0,6	0,7—0,9	1,1—2,0	0,3	0,6	0,3
200	—	0,3—0,4	0,5	0,5—0,7	0,8—1,4	0,3	0,5	0,2
250	—	0,2—0,3	0,4	0,4—0,5	0,7—1,2	0,2	0,4	—
300	—	0,1—0,3	0,4	0,4—0,5	0,6—1,0	—	—	—
400	—	—	—	0,3—0,4	0,4—0,8	—	—	—

Уширение проезжей части производится во внутреннюю сторону кривой (рис. 2—13). Причем если обочины имеют ширину более 1 м, то уширение может быть произведено за счет обочины. На дорогах с шириной обочины 1 м и менее уширение проезжей части производится с одновременным расширением земляного полотна.

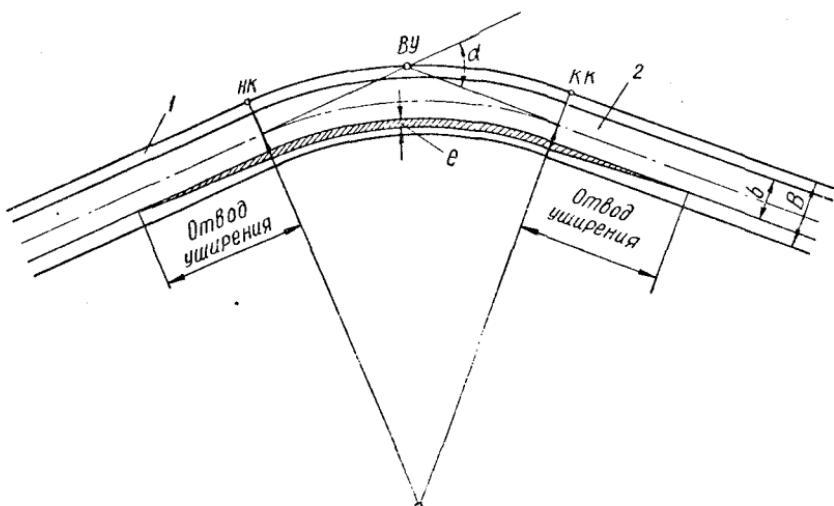


Рис. 2—13. Уширение проезжей части на закруглении

Отвод уширения, как видно на рис. 13, производится на прямых участках, прилегающих к круговой кривой. Длина отвода уширения обычно приравнивается длине переходной кривой либо длине отгона виража. При отсутствии последних ею задаются, но не менее длины автомобиля.

#### 2—4. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ВИРАЖА

Для обеспечения устойчивости автомобиля при движении по кривой малого радиуса устраивается вираж (рис. 2—14). Главной характеристикой виража является поперечный уклон односкатного профиля.

Значение его можно получить из формулы

$$i_v = \frac{v^2}{gR} - \Phi_2, \quad (2-26)$$

где  $v$  — расчетная скорость движения автомобиля, м/сек;

$R$  — радиус круговой кривой, м;

$\Phi_2$  — коэффициент поперечного сцепления колес с дорогой, принимаемый, исходя из условия обеспечения устойчивости автомобиля против заноса.

Коэффициент поперечного сцепления колес с дорогой  $\varphi_2$  зависит от коэффициента сцепления в плоскости качения колеса  $\varphi$  и численно равняется  $0,6\varphi - 0,7\varphi$ .

Значение коэффициента  $\varphi$  для различных типов покрытий приведено в табл. 7—1.

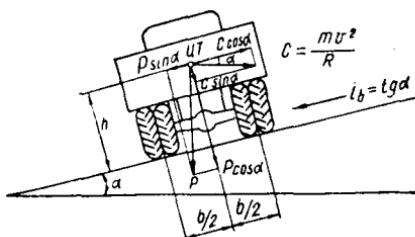


Рис. 2—14. Силы, действующие на автомобиль при движении его по кривой

меньше  $i_n$ . В этом случае на закруглении устраивается односкатный поперечный профиль (вираж) с уклоном  $i_n$ .

Подставляя исходные данные в формулу (26) и произведя вычисление, можем получить следующие три варианта:

1. Уклон виража  $i_v$  положительный и по абсолютной величине больше поперечного уклона дороги  $i_n$ . В этом случае устраивается вираж с уклоном  $i_v$ , но для лесовозных дорог не более 0,06.

2. Значение  $i_v$  отрицательное. По абсолютной величине

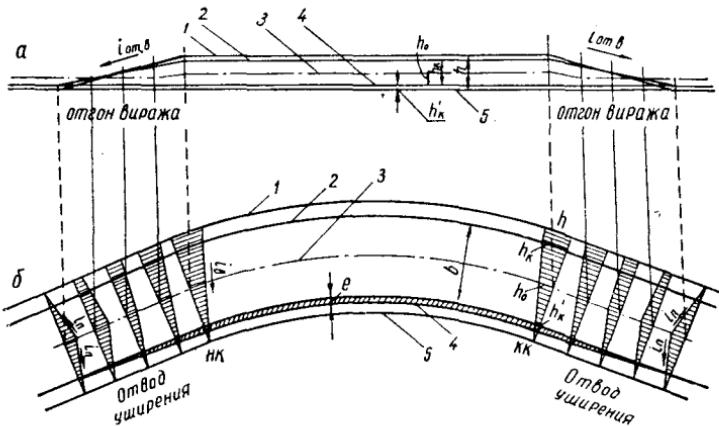


Рис. 2—15. Продольный профиль (а) и план виража (б):  
1 — наружная бровка; 2 — наружная кромка; 3 — ось дороги; 4 — внутренняя кромка; 5 — внутренняя бровка

3. Если значение  $i_v$  отрицательное и по абсолютной величине больше или равно  $i_n$ , то в таком случае устраивать вираж не нужно. На закруглении дорога может иметь двухскатный профиль проезжей части.

Величина поперечного уклона на вираже обычно назначается в зависимости от радиуса кривой:

при радиусе до 125 м . . . . .	60% <sub>00</sub>
при радиусе до 150 м . . . . .	50% <sub>00</sub>
при радиусе до 200 м . . . . .	40% <sub>00</sub>
при радиусе до 250—400 м . . . . .	30—20% <sub>00</sub>
при радиусе более 400 м . . . . .	без виражка

Возвышение наружной кромки проезжей части над внутренней на вираже автомобильных лесовозных дорог (рис. 2—15) определяется из выражения

$$h_k = bi_{\text{в}},$$

где  $b$  — ширина проезжей части без уширения;

$i_{\text{в}}$  — уклон виража.

Длина отгона виража равна

$$L_{\text{от. в}} = \frac{bi_{\text{в}}}{i_{\text{от. в}}}, \quad (2-27)$$

где  $i_{\text{от. в}}$  — уклон отгона виража, принимаемый 10—20%<sub>00</sub>.

Отгон виража осуществляется на протяжении переходной кривой, а при отсутствии ее — на прилегающем к круговой кривой прямом участке.

## 2—5. РАСЧЕТЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ВИДИМОСТИ НА КРИВЫХ

Безопасное движение автомобилей на дороге может быть обеспечено в том случае, если водитель будет видеть поверхность дороги или встречный транспорт на расстоянии, достаточном для остановки автомобиля. Это расстояние (видимости) зависит от состояния дороги, реакции водителя, скорости движения и тормозного пути автомобиля. Оно складывается с трех частей: расстояния, проходимого автомобилем за время реакции шоferа  $S_1$ ; тормозного пути  $S_t$  и запасного расстояния  $S_3$ .

Расстояние видимости для случая одиночного автомобиля (рис. 2—16,а) определяется по формуле

$$S = vt + \frac{k_3 v^2}{2g \left( \frac{Q_t}{Q_{\text{полн}}} \Phi + f_0 \pm i \right)} + S_3, \quad (2-28)$$

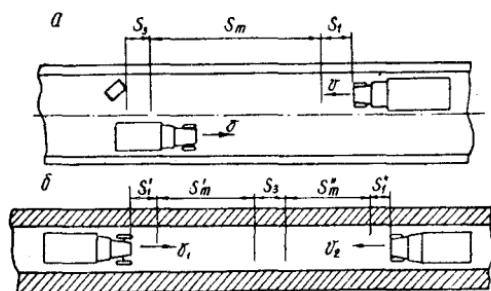


Рис. 2—16. Расчетные схемы для определения расстояния видимости на дороге

- где  $v$  — скорость движения, м/сек;  
 $t$  — время реакции водителя, принимаемое 1—2 сек;  
 $k_3$  — коэффициент эксплуатационных условий торможения  
(при гидравлическом и пневматическом приводе — 1,4;  
при механическом — 1,7);  
 $Q_t$  — вес, приходящийся на тормозные колеса автомобильного поезда;  
 $Q_{\text{полн}}$  — полный вес поезда;  
 $\varphi$  — коэффициент сцепления автомобиля с дорогой;  
 $f_0$  — коэффициент основного сопротивления движению;  
 $i$  — продольный уклон дороги;  
 $S_3$  — запасное расстояние безопасности, принимаемое 5—10 м.

Для случая встречного движения двух автомобилей по одной и той же полосе (рис. 2—16, б) необходимое расстояние видимости равно

$$S_B = v_1 t_1 + v_2 t_2 + \frac{k_3 v_1^2}{2g \left( \frac{Q'_t}{Q'_{\text{полн}}} \varphi + f_0 \pm i_1 \right)} + \frac{k_3 v_2^2}{2g \left( \frac{Q''_t}{Q''_{\text{полн}}} \varphi + f_0 \pm i \right)} + S_3 \text{ м,} \quad (2-29)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  — скорости движения автомобилей, м/сек.

На кривой видимость должна быть такой, чтобы водитель, находясь в любой точке кривой,

мог видеть поверхность дороги или препятствие на расстоянии не менее  $S_B$ , которое установлено для магистралей всех категорий — 75, для веток — 50 и усов — 20 м. Расстояние видимости двух встречных автомобилей удваивается и соответственно равно — 150, 100 и 40 м.

Однако на лесовозных автомобильных дорогах видимость в кривых часто бывает затруднена растущими деревьями и кустарниками, откосом выемки и возвышениями местности (рис. 2—17). Для обеспечения расчетной видимости  $S_B$  все препятствия, расположенные в зоне необходимого видения, должны это путем уширения просеки

Рис. 2—17. Препятствия для видимости на кривой

быть устранены. Достигается срезки откоса выемки или полувыемки.

Максимальное значение ширины зоны  $Z$  определяется в зави-

сности от расчетного расстояния видимости  $S_b$ , длины кривой  $K$  и угла поворота  $\alpha$  по следующим формулам:

1) в случае  $S_b \leq K$  (рис. 2—18, а)

$$Z = R \left( 1 - \cos \frac{\beta}{2} \right), \quad (2-30)$$

где  $\beta$  — угол, определяемый из выражения

$$\beta = \frac{S_b}{R};$$

2) в случае  $S_b > K$  (рис. 2—18, б)

$$Z = R \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) + \frac{S_b - K}{2} \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (2-31)$$

Определив величину, нетрудно проверить обеспечение расчетной видимости в кривых.

Если обеспечение видимости на кривой связано с большими денежными и трудовыми затратами, то задача решается более детально. Строится линия видимости по всей длине кривой.

Построение линии видимости удобно производить графически. Для этого по траектории автомобиля откладываются отрезки, равные расчетному расстоянию видимости, и концы их соединяются прямыми линиями. Полученная таким образом обвертывающаяся и будет кривой видимости, которая сразу дает решение о пределах рубки деревьев.

В том случае, если по каким-либо причинам нельзя устраниТЬ препятствия, мешающие видимости на кривой, безопасность движения автомобилей может быть обеспечена путем снижения скорости. Снижение скорости приводит к уменьшению расчетного расстояния видимости.

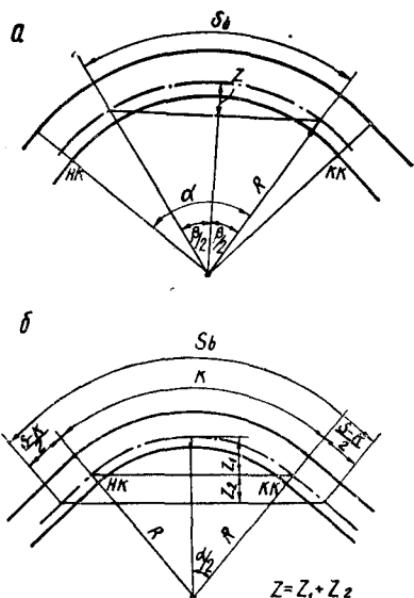


Рис. 2—18. Схемы к расчету видимости на кривой

## 2—6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Пример 7.** Дано: угол поворота трассы  $\alpha = \frac{\pi}{6}$ , радиус круговой кривой  $R = 100$  м, вершина угла ВУ находится на ПК 10 + 15. Требуется рассчитать основные элементы круговой кри-

вой, главные точки и координаты промежуточных точек, необходимые для детальной разбивки кривой на местности.

**Решение.** 1. К основным элементам круговой кривой относятся: дорожный тангенс  $T$ , кривая  $K$ , биссектриса  $B$ , домер  $D$ . Пользуясь рис. 2—19 и приведенными выше формулами, вычислим их значение.

$$\text{Дорожный тангенс } T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 100 \operatorname{tg} \frac{\pi}{2} = 26,80 \text{ м.}$$

$$\text{Кривая } K = R\alpha = 100 \frac{3,14}{6} = 52,36 \text{ м.}$$

$$\text{Биссектриса } B = R \left( \sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right) = 100 \left( \sec \frac{3,14}{12} - 1 \right) = 3,53 \text{ м.}$$

$$\text{Домер } D = 2T - K = 2 \cdot 26,80 - 52,36 = 1,24 \text{ м.}$$

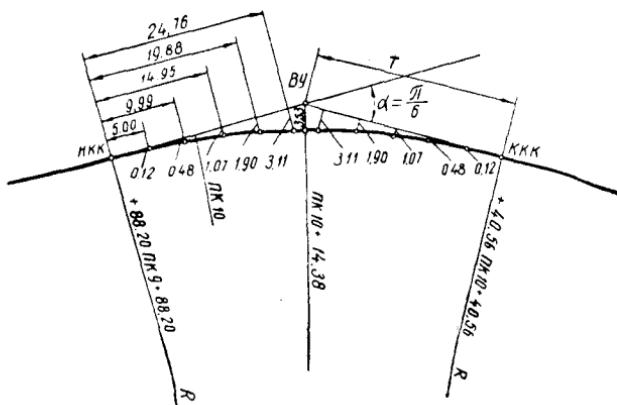


Рис. 2—19. Круговая кривая, ее элементы и координаты промежуточных точек

2. Находим главные точки: начало кривой ( $HKK$ ), середину кривой ( $CK$ ) и конец кривой ( $KKK$ ).

Для того чтобы узнать, в какой точке находится начало кривой, нужно от вершины угла отмерить назад величину  $T$ , а при вычислении просто отнять ее:

$$\begin{array}{r}
 BY \dots \dots \dots PK \ 10 + 15 \\
 - T \dots \dots \dots - \quad 26,80 \\
 \hline
 HKK \dots \dots \dots PK \ 9 + 88,2
 \end{array}$$

Для определения конца круговой кривой, очевидно, достаточно к началу кривой прибавить длину кривой:

$$\begin{array}{r}
 HKK \dots \dots \dots PK \ 9 + 88,2 \\
 + K \dots \dots \dots + \quad 52,36 \\
 \hline
 KKK \dots \dots \dots PK \ 10 + 40,56
 \end{array}$$

Для проверки вычисления конца круговой кривой можно к вершине угла прибавить длину тангенса  $T$  и отнять домер  $2T - K$ :

<i>BY</i>	.	.	.	.	.	<i>PK</i>	$10 + 15$
<i>+ T</i>	.	.	.	.	.	<i>+</i>	$26,8$
<i>— (2T — K)</i>	.	.	.	.	<i>PK</i>	$10 + 41,8$	
					<i>—</i>	$1,24$	
<i>KKK</i>	.	.	.	.	<i>PK</i>	$10 + 40,56$	

Местоположение середины кривой можно получить в том случае, если к началу кривой прибавить половину ее значения:

<i>HKK</i>	.	.	.	.	<i>PK</i>	9 + 88,2
+ $\frac{K}{2}$	.	.	.	.	+	26,18
<i>CK</i>	.	.	.	.	<i>PK</i>	10 + 14,38

Таким образом, главные точки круговой кривой должны быть обозначены в следующих местах:

<i>HKK</i>	.	.	.	.	.	<i>PK</i>	$9 + 88,20$
<i>KKK</i>	.	.	.	.	.	<i>PK</i>	$10 + 40,56$
<i>CK</i>	.	.	.	.	.	<i>PK</i>	$10 + 14,38$

3. При определении координат промежуточных точек круговой кривой примем расстояние между рассматриваемыми точками по кривой равным 5 м. Центральный угол, соответствующий дуге  $\Delta K = 5$  м:

$$\varphi = \frac{\Delta K}{R} = \frac{5}{100} = 0,05 \text{ rad.}$$

Расчеты удобно сводить сразу в таблицу.

Центральный угол		Абсциссы		Ординаты	
$n\varphi$	численное значение	$x = R \sin \varphi$	$x, \text{ м}$	$y = R(1 - \cos n\varphi)$	$y, \text{ м}$
1	0,05	$100 \times 0,0500$	5,00	$100(1 - 0,9988)$	0,12
2	0,10	$100 \times 0,0999$	9,99	$100(1 - 0,9952)$	0,48
3	0,15	$100 \times 0,1495$	14,95	$100(1 - 0,9893)$	1,07
4	0,20	$100 \times 0,1988$	19,88	$100(1 - 0,9810)$	1,90
5	0,25	$100 \times 0,2476$	24,76	$100(1 - 0,9689)$	3,11

Основные элементы, главные и промежуточные точки рассчитанной кривой показаны на рис. 19.

**Пример 8.** Запроектировать симметричную серпантину первого рода с центром основной кривой в вершине угла трассы, принимая за исходные следующие данные:

угол поворота трассы  $\alpha = \frac{\pi}{6}$ ;

радиусы основной и вспомогательной кривых  $R_0 = R = 50 \text{ м}$ ;

прямая вставка  $P = 20 \text{ м}$ ;

крутизна косогора  $i_0 = 0,20$ ;

ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$ ;

коэффициент откоса  $m = 1,5$ ;

боковые водоотводные канавы — трапецидальные;

глубина  $h_k = 0,6 \text{ м}$ , ширина по дну  $b_k = 0,4 \text{ м}$ .

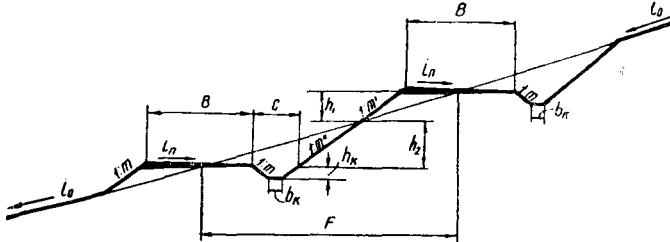


Рис. 2—20. Схема для определения минимально допустимого расстояния между осями нижней и верхней ветвей серпантинны

**Решение.** 1. Определяем минимальное расстояние  $F$  между вершинами вспомогательных кривых, необходимое для размещения элементов поперечного профиля дороги.

Как видно из рис. 2—20,

$$F = \frac{h_1 + h_2}{i_0} = B + C + m(h_1 + h_2). \quad (2-32)$$

Значение  $C = 2mh_k + b_k = 2 \cdot 1,5 \cdot 0,6 + 0,4 = 2,20 \text{ м}$ .

Высота  $h_1 = \frac{Bi_0}{2(1 - m'i_0)} = \frac{8 \cdot 0,2}{2(1 - 1,5 \cdot 0,2)} = 1,14 \text{ м}$ ,

a

$$h_2 = \frac{Bi_0}{2(1 - m'i_0)} + \frac{Ci_0}{1 - mi_0} = \frac{8 \cdot 0,2}{2(1 - 1,5 \cdot 0,2)} + \frac{2,2 \cdot 0,2}{1 - 1,5 \cdot 0,2} = 1,77 \text{ м.}$$

Подставляя численное значение входящих в формулу (32) величин, получим

$$F = 8,0 + 2,2 + 1,5 (1,14 + 1,77) = 14,6 \text{ м.}$$

2. Из треугольника  $OCM$  (рис. 2—21) по известным сторонам определим углы  $\beta$  и  $\delta$  [7]:

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{-P \pm \sqrt{P^2 + 3R^2}}{3R} = \frac{-20 \pm \sqrt{400 + 7500}}{150} = 0,46.$$

Отсюда угол  $\beta = 0,8622$ ; угол  $\delta = \frac{\pi}{2} - \beta = 1,5708 - 0,8622 = 0,7086$ .

3. Расстояние от вершины основной до вершины вспомогательной кривой  $OM = ON = d$ . Его значение можно определить по формуле

$$d = \frac{R_9}{\sin \beta} = \frac{50}{0,7593} = 65,8 \text{ m.}$$

4. Расстояние от вершины угла вспомогательной кривой до начала основной кривой  $MC = NA$ :

$$P + T = d \cos \beta =$$

5. Элементы вспомогательной кривой при угле поворота  $\beta = 0,8622$  и радиусе кривой  $R = 50 \text{ м}$ , найденные по таблице [75], имеют следующее значение:

тангенс  $T = 23,0 \text{ м}$ ; кривая  $K = 43,1 \text{ м}$ ; биссектриса  $B = 5,0 \text{ м}$ .

6. Расстояние между осями ветвей серпинтины будет равно

$$z = 2d \sin \frac{\alpha}{2} + 2B = 2 \cdot 65,8 \cdot 0,1305 + 2 \cdot 5,0 = 27,2 \text{ m.}$$

Значение  $z > F$ , и это дает возможность разместить все элементы дороги заданных размеров.

### 7. Угол основной кривой

$$\gamma = 2\pi - 2\delta = 6,2832 - 2 \cdot 0,7086 - 0,5236 = 4,3426 \text{ rad},$$

а ее длина  $S = R_0\gamma = 217,13$  м.

8. Для разбивки основной кривой необходимо задаться некоторым числом точек  $K$ , длина дуги в этом случае будет

$$\Delta s = \frac{s}{K-1},$$

а центральный угол, соответствующий этой дуге,

$$\Delta_1 = \frac{\gamma}{K-1}.$$

Имея значение  $\Delta_t$  и  $R_0$ , нетрудно произвести разбивку кри-  
вой на местности.

**Пример 9.** Определить ширину земляного полотна автомобильной лесовозной дороги, по которой предусматривается двухстороннее движение автомобилей МАЗ-501 со скоростью  $v = 11$  м/сек. Ширина обочины 1 м.

Решение. 1. По технической характеристике (приложение 1) устанавливаем, что ширина автомобиля МАЗ-501 по

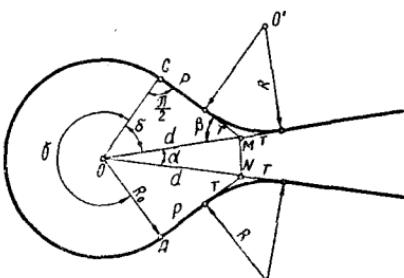


Рис. 2—21. Симметричная серпантин的第一 род

коинку  $K = 2,65$  м, колея задних колес  $C = 1,92$  м и ширина спаренных задних колес (шины 12,00 — 20)  $n = 0,7$  м.

2. Расстояние между встречными автомобилями определяется по формуле (17):

$$s = 0,7 + 0,018(v_1 + v_2) = 0,7 + 0,018(11 + 11) = 1,1 \text{ м.}$$

3. Запасное расстояние от спаренных задних колес до кромки проезжей части принимаем  $m = 0,30$  м.

4. Ширина двухполосной проезжей части на основании формулы (16) равна

$$b = 1,92 + 0,7 + 2,65 + 1,1 + 2 \cdot 0,30 = 6,97 \text{ м.}$$

Принимаем  $b = 7$  м.

5. Ширина земляного полотна

$$B = b + 2a = 7 + 2 \cdot 1 = 9 \text{ м.}$$

Ответ. При заданных эксплуатационных условиях ширина земляного полотна должна быть равна 9 м, что соответствует магистральным лесовозным дорогам I категории.

**Пример 10.** Рассчитать автомобильную лесовозную дорогу в кривой по данным: угол поворота  $\alpha = 0,8$  рад, радиус круговой кривой  $R = 50$  м, расчетная скорость одиночных автомобилей МАЗ-200  $v = 12$  м/сек, дорога гравийная с двухсторонним движением, ширина проезжей части  $b = 6,5$  м, кривая расположена на горизонтальном участке пути.

**Решение.** 1. По таблице [75] при угле  $\alpha = 0,8$  рад и радиусе  $R = 50$  м находим основные элементы круговой кривой. Они равны: дорожный тангенс  $T = 21,14$  м,  $K = 40,00$  м, биссектриса  $B = 4,28$  м.

2. По формуле (28) вычислим необходимое расстояние видимости, приняв предварительно коэффициент сцепления автомобиля с дорогой  $\varphi = 0,3$  и коэффициент сопротивления движению по гравийной дороге  $f_0 = 0,04$ , а запасное расстояние  $S_3 = 8$  м:

$$S_B = 12 + \frac{1,4 \cdot 12^2}{2 \cdot 9,81 (0,3 + 0,04)} + 8 = 50 \text{ м.}$$

Расчетное расстояние видимости исчисляется для траектории начала луча зрения (глаза водителя). Над проезжей частью она находится на высоте 1,2 м и от кромки — на расстоянии 1,5 м.

3. Уширение проезжей части в кривой (23) при расстоянии от задней оси автомобиля до переднего буфера  $L = 5,53$  м будет равно

$$e = 2(50 - \sqrt{50^2 - 5,53^2}) + \frac{0,36 \cdot 12}{\sqrt{50}} = 1,2 \text{ м,}$$

а полная ширина проезжей части (рис. 2—22)

$$b_k = b + e = 6,5 + 1,2 = 7,7 \text{ м.}$$

Произвести уширение проезжей части на 1,2 м за счет обочины ( $a = 0,75$  м) нет возможности, а поэтому на кривой предусматриваем уширение и земляного полотна. Уширенное земляное полотно  $B_k = 9,2$  м.

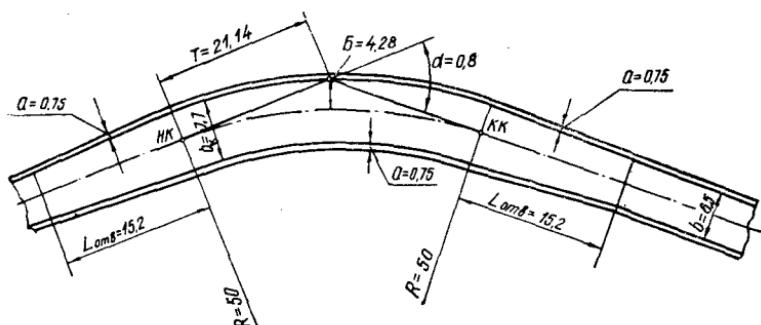


Рис. 2—22. План автомобильной дороги на закруглении

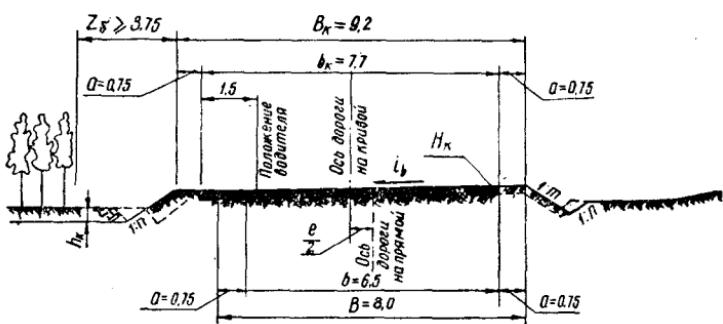


Рис. 2—23. Поперечный профиль дороги

4. Определим поперечный уклон виражка (рис. 2—23), приняв коэффициент поперечной силы  $\varphi_2 = 0,7\varphi = 0,21$ :

$$i_v = \frac{12^2}{9,81 \cdot 50} - 0,21 = +0,083.$$

Такой уклон виражка не может быть принят, и его необходимо уменьшить. Максимально допустимое значение уклона виражка, как отмечалось выше,  $i_v = 0,06$ . Примем  $i_v = 0,06$  и вычислим допустимую скорость движения автомобиля на кривой:

$$v \leq \sqrt{gR(\varphi_2 + i_v)} = \sqrt{9,81 \cdot 50(0,21 + 0,06)} = 11,5 \text{ м/сек.}$$

5. Возвышение наружной кромки проезжей части над внутренней получим из выражения

$$h_k = b_i_n = 6,5 \cdot 0,06 = 0,39 \text{ м.}$$

6. Длина отгона выражена при уклоне отгона  $i_{\text{от г}} = 25^\circ/00$

$$L_{\text{от г}} = \frac{H_k}{i_{\text{от г}}} = \frac{0,39}{0,025} = 15,2 \text{ м.}$$

Отвод уширения проезжей части и земляного полотна будет также равен 15,2 м.

7. На закруглении необходимо проверить обеспеченность видимости. В данном примере  $S_g > K$ , а поэтому расчет производится по формуле (31):

$$Z = 50 [1 - \cos(0,4)] + \frac{50 - 40}{2} \sin(0,4) = 5,84 = 6 \text{ м.}$$

От бровки земляного полотна растущие деревья, постройки и другие препятствия должны находиться на удалении не менее

$$Z_6 = Z - y - a = 6 - 1,5 - 0,75 = 3,75 \text{ м,}$$

где  $y = 1,5$  — расстояние от кромки проезжей части до траектории движения водителя.

**Пример 11.** Определить радиус круговой кривой, который бы обеспечивал устойчивое движение автомобиля без устройства виража. Дорога гравийная, расчетная скорость движения  $v = 12 \text{ м/сек}$ , поперечный уклон проезжей части  $i_p = 0,04$ .

**Решение.** 1. При решении подобного типа задач весьма существенное значение имеет правильное установление коэффициента сцепления шин с покрытием  $\varphi$ , а следовательно, и бокового коэффициента сцепления  $\varphi_2$ .

Для гравийных лесовозных дорог при скорости движения автомобиля до 16 м/сек коэффициент сцепления можно принимать в пределах  $\varphi = 0,4 \div 0,5$ .

Принимая  $\varphi = 0,4$  и учитывая, что  $\varphi_2 = (0,6 \div 0,7)\varphi$ , получим  $\varphi_2 = 0,7 \cdot 0,4 = 0,28$ .

2. Радиус круговой кривой (2), обеспечивающий устойчивое движение автомобиля,

$$R \geqslant \frac{v^2}{g(\varphi_2 \pm i)} = \frac{12^2}{9,81(0,28 - 0,04)} = 610 \text{ м.}$$

Примем  $R = 600 \text{ м.}$

**Пример 12.** Определить основные параметры и координаты промежуточных точек переходной кривой (клоны), если известно, что расчетная скорость движения автомобиля  $v = 15,9 \text{ м/сек}$ , угол поворота  $\alpha = 0,6 \text{ rad}$ , радиус круговой кривой  $R = 200 \text{ м}$ , а допустимая скорость нарастания центростремительного ускорения  $I = 0,5 \text{ м/сек}^2$ .

**Решение.** 1. Вычисляем длину переходной кривой (рис. 2—24, линия  $A — Г$ ):

$$L = \frac{v^3}{RI} = \frac{15,9^3}{200 \cdot 0,5} = 40 \text{ м.}$$

2. Параметр  $C$  получим из равенства

$$C = RL = 200 \cdot 40 = 8000.$$

3. Для вычисления координат промежуточных точек используем формулы (9). Расчеты сведем в таблицу.

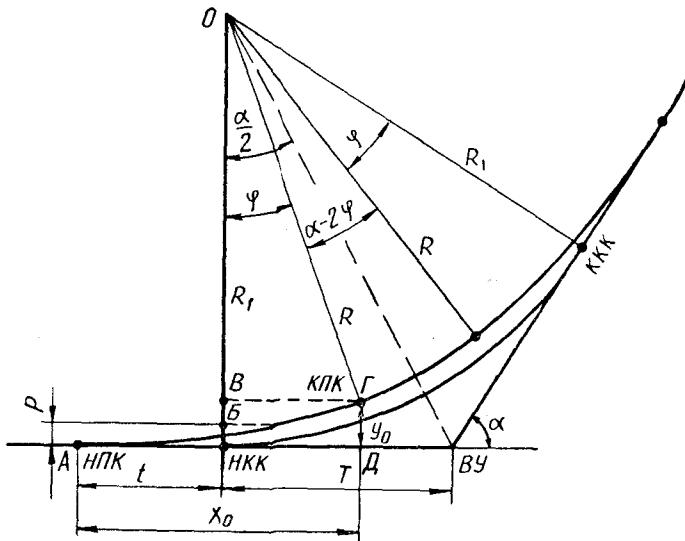


Рис. 2—24. Схема разбивки переходной кривой по клотоидде

Длина кри- вой до рас- сматрива- емой точки, $m$	Координаты, $m$		Длина кри- вой до рас- сматриваемой точки, $m$	Координаты, $m$	
	$x$	$y$		$x$	$y$
4	4,00	0,01	24	24,00	0,29
8	8,00	0,02	28	28,00	0,46
12	12,00	0,04	32	31,99	0,68
16	16,00	0,08	36	35,98	0,97
20	20,00	0,17	40	39,96	1,34

Тангенс переходной кривой определяется по формуле

$$t = x_0 - R \sin \varphi,$$

где  $x_0$  — ордината при  $S = L$ , т. е. 40 м;

$\varphi$  — угол в радианах, численно равный отношению

$$\varphi = \frac{L}{2R}.$$

В нашем примере  $x_0 = 39,96$  м,  $\varphi = \frac{40}{2 \cdot 200} = 0,1$  и поэтому  $t = 39,96 - 200 \sin(0,1) = 20$  м, т. е. половине длины кривой  $L$ .

5. Как видно на рис. 24, круговая кривая после разбивки переходной кривой сохраняется только в пределах дуги, измеряемой углом  $\alpha - 2\varphi$ . Разбивка переходной кривой возможна при условии, если

$$\alpha \geqslant 2\varphi \text{ или } \alpha \geqslant \frac{L}{R}.$$

В данном примере  $\alpha = 0,6 > 2\varphi = 0,2$ , а следовательно, разбивка переходной кривой возможна.

6. Применение переходной кривой приводит к сдвигу основной кривой к центру на величину

$P = y_0 - R(1 - \cos \varphi) = 1,34 - 200[1 - \cos(0,1)] = 0,34$  м, а поэтому первоначальный радиус  $R$ , используемый для расчета главных точек круговой кривой, необходимо увеличить:

$$R_1 = R + P = 200 + 0,34 = 200,34 \text{ м.}$$

На основании произведенных расчетов можно сделать разбивку переходной кривой.

В практике разбивка переходной кривой производится одновременно с разбивкой круговой кривой.

## 2—7. ЗАДАЧИ

28. Определить основные элементы круговой кривой при угле поворота  $\alpha = \frac{\pi}{6}$  и радиусе  $R = 200$  м.

29. Рассчитать максимальную величину радиуса круговой кривой, исходя из условия, чтобы биссектриса угла не превышала 10 м. Угол поворота  $\alpha = 1$  рад. •

30. Трасса дороги проходит через точки  $A$ ,  $B$ ,  $B$ ,  $G$  и имеет два угла поворота. В точке  $B$  она поворачивает вправо на 0,4 рад, а в точке  $B$  — влево на 0,8 рад. Румб участка  $A - B$  ЮЗ: 0,3.

Определить направление трассы на участке  $BG$ .

31. Определить минимальное расстояние между вершинами двух смежных обратных кривых, имеющих соответственно углы поворота  $\alpha_1 = 0,5$  рад и  $\alpha_2 = 0,8$  рад и радиусы закругления  $R_1 = 150$  м и  $R_2 = 100$  м.

Прямая вставка между круговыми кривыми  $l = 50$  м.

32. При каком минимальном радиусе круговой кривой будет обеспечено устойчивое движение автомобиля на дороге, если известно, что поперечный уклон проезжей части  $i_n = 3\%$ , коэффициент сцепления  $\varphi_2 = 0,15$ , а расчетная скорость движения автомобиля 16,4 м/сек?

33. Определить минимально допустимое расстояние между вершинами двух сопряженных кривых, не имеющих виражей,

если известно, что  $\alpha_1 = 0,6 \text{ рад}$ ,  $R_1 = 100 \text{ м}$ ,  $\alpha_2 = 0,8 \text{ рад}$ ,  $R_2 = 50 \text{ м}$ .

34. Две смежные односторонние кривые необходимо проектировать с радиусами:  $R_1 = 100 \text{ м}$  и  $R_2 = 150 \text{ м}$ . Внутренние углы поворота  $\beta_1 = 2,5 \text{ рад}$  и  $\beta_2 = 2,2 \text{ рад}$ . На кривых предусматривается устройство виражей. Наружная кромка первой кривой возвышается над наружной кромкой второй кривой на  $0,2 \text{ м}$ . Допустимый уклон отгона виража  $10\%$ .

Определить минимальное расстояние между вершинами углов поворота.

35. Вершина угла поворота расположена на ПК  $10 + 30 \text{ м}$ . Найти местоположение главных точек кривой при условии, что  $\alpha = 1 \text{ рад}$  и  $R = 250 \text{ м}$ .

36. Какую величину должен иметь радиус круговой кривой, чтобы при угле поворота  $\alpha = 0,8 \text{ рад}$  начало круговой кривой совпало с точкой ПК  $20 + 0$ , а вершина угла ПК  $20 + 42,3$ ?

37. Определить значение коэффициента поперечной силы, при котором можно было бы развивать скорость  $14 \text{ м/сек}$  на закруглении (вправо, влево) с радиусом  $100 \text{ м}$ , не имеющим виража. На прямом участке пути двухскатный поперечный профиль проезжей части имеет уклон  $40\%$ .

38. Вычислить минимальное расстояние между вершинами вспомогательных кривых серпантин первого рода, если известно, что поперечный уклон местности  $i_0 = 32\%$ , коэффициент откосов  $m = 1,25$ , ширина боковых канав по верху  $C = 1,9 \text{ м}$  и ширина земляного полотна  $B = 6,5 \text{ м}$ .

39. Между верхней и нижней ветвями серпантин первого рода проектируется подпорная вертикальная стенка, толщина которой в верхней части  $a = 0,7 \text{ м}$ . Крутизна местности в поперечном направлении  $1:4$ , ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$ , ширина боковой канавы по верху  $C = 1,3 \text{ м}$ . Определить минимальное расстояние между осями ветвей серпантини.

40. Определить основные элементы симметричной серпантини первого рода, если принять, что угол трассы  $\alpha = 0,5 \text{ рад}$ , радиус основной кривой  $R_0 = 50 \text{ м}$ , вспомогательных  $R = 100 \text{ м}$ , а прямая вставка между основной и вспомогательной кривыми  $P = 30 \text{ м}$ .

41. Рассчитать и начертить несимметричную серпантину первого рода, если радиус основной кривой  $R_0 = 20 \text{ м}$ , вспомогательных кривых  $R_1 = 100 \text{ м}$ ,  $R_2 = 150 \text{ м}$ , угол трассы  $\alpha = 0,8 \text{ рад}$ , а прямые вставки  $P_1 = 20 \text{ м}$  и  $P_2 = 40 \text{ м}$ .

42. Построить графически серпантину второго рода со смещенным центром при следующих данных: угол трассы  $\alpha = \frac{\pi}{5}$ , радиус основной кривой  $R_0 = 30 \text{ м}$ , вспомогательных  $R = 60 \text{ м}$ . Вершина угла поворота находится на ПК  $10 + 30 \text{ м}$ . При этом центр серпантини смещен вправо на  $60 \text{ м}$  от

ПК 10 + 85, а ближайшее расстояние от центра серпантины до вершины вспомогательной кривой равно 80 м.

43. Определить длину переходной кривой, которую необходимо устраивать на лесовозной дороге II категории, при радиусе круговой кривой  $R = 100$  м. Величина нарастания центробежного ускорения  $I = 0,5$  м/сек<sup>3</sup>.

44. Известно, что расчетная скорость движения  $v = 10$  м/сек, угол поворота  $\alpha = 0,5$ , а радиус круговой кривой  $R = 60$  м.

Требуется вычислить максимально возможную длину переходной кривой и скорость нарастания центробежного ускорения.

45. К круговой кривой радиусом  $R = 125$  м примыкает переходная кривая с параметром  $C = 2000$ .

Определить длину кривой и скорость, при которой нарастание центробежного ускорения не будет превышать 1 м/сек<sup>3</sup>.

46. Произвести полный расчет трассы на закруглении, принимая за исходные следующие данные: угол поворота  $\alpha = 0,8$  рад, радиус круговой кривой  $R = 150$  м, скорость движения автомобилей  $v = 15$  м/сек, коэффициент сцепления  $\varphi = 0,25$ , скорость нарастания центробежного ускорения  $I = 0,6$  м/сек<sup>3</sup>, переходная кривая — клотоида. Начертить круговую и переходные кривые.

47. Определить ширину проезжей части однополосной дороги под лесовозный автомобиль МАЗ-501 с прицепом - роспуском 2-Р-15, если запасное расстояние от обода колеса до кромки проезжей части  $m = 0,29$  м и ширина спаренных колес  $n = 0,7$  м.

48. Какую ширину проезжей части должна иметь лесовозная дорога, чтобы обеспечить двухстороннее движение автомобилей ЗИЛ-151 со скоростью 10 м/сек? Ширина спаренных колес  $n = 0,59$  м и запасные расстояния у кромок проезжей части  $m = 0,25$  м.

49. Рассчитать ширину колесопроводов железобетонного колейного покрытия под автомобилем ЗИЛ-164, если известно, что расчетная скорость движения на дороге  $v = 9$  м/сек, а ширина наката  $n = 0,52$  м.

50. Максимальная скорость движения автомобилей МАЗ-200 составляет  $v = 11$  м/сек, ширина колеи передних колес  $C_1 = 1950$  мм, задних  $C_2 = 1920$  мм, накат  $n = 700$  мм. Определить размеры колейного покрытия для прямого участка лесовозной дороги.

51. На сколько процентов увеличится расчетная ширина железобетонного колейного покрытия на прямом участке лесовозной дороги, если скорость автомобиля МАЗ-501 возрастет с 8 до 12 м/сек?

52. На магистральных дорогах II категории при равнинном рельефе расчетная скорость движения  $v = 11$  м/сек, а ширина проезжей части  $b = 6$  м.

На каком расстоянии от кромок проезжей части будут находиться колеса автомобилей ЗИЛ-130 в период встречи?

53. На каком расстоянии должны быть уложены на дороге железобетонные плиты метровой ширины, чтобы движение колес автомобиля ЯАЗ-214 происходило по их середине?

54. Рассчитать минимальную длину разъезда однопутной автомобильной лесовозной дороги. Исходные данные: автомобиль ЗИЛ-157, длина хлыстов 25 м, интервал между машинами 0,4 м, радиус поворота  $R = 30$  м.

55. Начертить план разъезда однопутной автомобильной лесовозной дороги, у которой ширина проезжей части  $b = 3,5$  м, а ширина обочин  $a = 0,75$  м. Длина автомобильного поезда  $l_m = 30$  м и радиус поворота  $R = 20$  м.

56. Определить необходимое число полос движения автомобильной лесовозной дороги, к которой тяготеет лесной массив с эксплуатационным запасом в 2 млн. м<sup>3</sup>. Известно, что длина дороги равна 30 км, среднее расстояние видимости — 800 м, а разность в стоимости строительства 1 км двухпутной и однопутной дороги составляет 2 тыс. руб. Вывозка леса производится автомобилями ЗИЛ-164, рейсовая нагрузка которых равна 12 м<sup>3</sup>, а среднетехническая скорость движения 5 м/сек. При этом стоимость машино-смены автомобиля с прицепом  $D = 18$  руб.

57. Рассчитать ширину обочин дороги для двухпутного движения автомобилей МАЗ-500 с прицепом-роспуском 2-Р-15, если известно, что расчетная скорость равна 8 м/сек, а ширина земляного полотна 8 м. (Данные о подвижном составе взять из технической характеристики. Приложения 1, 2.)

58. Дано: угол поворота  $\alpha = 0,7$  рад, радиус круговой кривой  $R = 100$  м, ширина земляного полотна и проезжей части на прямом участке пути соответственно  $B = 10$  м и  $b = 7$  м, уширение на кривой  $e = 0,8$  м и длина отвода уширения  $l_{\text{от. у.}} = 24$  м.

Требуется начертить план дороги в кривой.

59. Для пропуска одиночных автомобилей ЗИЛ-157 со скоростью 11 м/сек на прямых участках пути запроектирована проезжая часть шириной 6 м.

Определить необходимое уширение проезжей части дороги на кривой, радиус которой  $R = 50$  м и угол поворота  $\alpha = 0,4$  рад.

60. На какую величину сместятся колеса полуприцепа 2-ПР-10 по отношению к задним колесам автомобиля ЗИЛ-164 при статическом вписывании поезда в кривую, радиус которой  $R = 100$  м и угол поворота  $\alpha = 0,7$  рад? Длина боксера (рис. 12)  $b = 3,5$  м; расстояние от задней оси автомобиля до боксирного крюка  $a = 1,7$  м.

61. Определить траекторию движения прицепа-роспуска при вписывании автопоезда (МАЗ-501 + 2-Р-15) в кривую, радиус которой равен 100 м, а угол поворота 0,6 рад. При этом расстояние между кониками равно 12 м, а ширина проезжей части дороги на прямом участке 6 м.

62. Определить уширение проезжей части и земляного полотна дороги II категории, необходимое для нормального вписывания автомобиля МАЗ-502 со сменным прицепом в кривую  $R = 50$  м и  $\alpha = 0,5$  рад, если расстояние между кониками равно 10 м.

63. При какой величине радиуса круговой кривой уширение дороги для пропуска автопоезда ЗИЛ-151 + 1-Р-8 с хлыстами длиной 25 м будет равно 0,6 м?

64. Для автомобиля МАЗ-501 с прицепом-роспуском 2-Р-15 построить графики зависимости уширения двухполосной проезжей части от радиуса круговой кривой и длины перевозимых хлыстов.

65. Определить уширение однополосной проезжей части дороги по условию вписывания одиночного автомобиля МАЗ-200 в кривую, радиус которой равен 150 м.

66. Для перевозки хлыстов длиной 22 м используется автомобиль МАЗ-501 с прицепом-роспуском 2-Р-15.

Определить величину заноса вершинной части хлыстов за осевую линию дороги, если радиус круговой кривой  $R = 100$  м, ширина проезжей части  $b = 6$  м, ее уширение  $e = 1,2$  м и расстояние между кониками 10 м.

67. Вычертить план кривой ( $\alpha = 1$  рад,  $R = 100$  м) и траекторию движения вершин хлыстов при условии: вывозка леса производится автомобилями ЗИЛ-151 с прицепом-роспуском 1-Р-8, расстояние между кониками равно 13 м, средняя длина хлыстов 25 м, а ширина проезжей части и земляного полотна в кривой соответственно равна 4,9 и 6,9 м.

68. Какую минимальную разделительную полосу по условиям безопасности движения необходимо устраивать для движения автомобильных поездов (ЗИЛ-164 + 1-Р-8) в кривой, радиус которой равен 50 м, а угол поворота 0,8 рад, если длина перевозимых хлыстов равна 30 м, расстояние между кониками 14 м, а ширина полосы движения на прямом участке и на закруглении соответственно 3 и 4,5 м?

69. Вычертить поперечный профиль дороги в кривой и вычислить возвышение кромок проезжей части и бровок земляного полотна относительно соответствующих точек на прямом участке пути. Известно, что ширина земляного полотна дороги  $B = 8$  м, ширина проезжей части  $b = 6,0$  м и уклон водосливной призмы  $i_p = 3\%$ , уширение  $e = 0,5$  м, уклон виража  $i_v = 4\%$ , боковые канавы — треугольные ( $m_1 = 2$ ;  $m_2 = 1,5$ ;  $h_k = 0,6$  м).

70. Определить поперечный уклон дороги в кривой, если известно, что ширина проезжей части  $b_k = 7$  м, ширина обочин  $a = 0,75$  м, а возвышение внешней кромки проезжей части над внутренней  $H_k = 0,35$ .

71. Рассчитать вираж на кривой, радиус которой  $R = 50$  м и угол поворота  $\alpha = 0,6$  рад, принимая скорость движения

автомобиля  $v = 10 \text{ м/сек}$  и коэффициент сцепления  $\varphi_2 = 0,15$ .

На прямом участке дороги ширина проезжей части  $b = 6,5 \text{ м}$ , обочина  $a = 0,75 \text{ м}$ , поперечный уклон  $i_n = 0,03$ , кюветы треугольные ( $m_1 = 2,0$ ;  $m_2 = 1$ ;  $h_k = 0,6 \text{ м}$ ).

72. Автомобиль МАЗ-501 с прицепом-роспуском 2-Р-15 и полезной нагрузкой  $Q_p = 180 \text{ кн}$  движется по кривой, радиус которой равен 50 м. Какую максимальную скорость может раз-

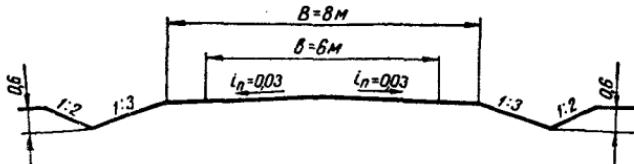


Рис. 2-25. Поперечный профиль дороги

вивать автомобиль без опасности бокового заноса, если коэффициент сцепления  $\varphi_2 = 0,30$ , а поперечный уклон дороги  $i_n = -0,03$ ?

73. На прямом участке гравийной дороги поперечный уклон проезжей части  $i_n = 0,035$ , коэффициент сцепления колес с дорогой  $\varphi = 0,4$  и расчетная скорость движения автомобиля  $v = 12,5 \text{ м/сек}$ .

Какой должен быть минимальный радиус круговых кривых, чтобы в их пределах форма поперечного профиля и скорость движения могли быть такими же, как и на прямой?

Какие имеются особенности и отличия при расчете левых и правых кривых?

74. Какой должен быть радиус кривой, если допустимая скорость движения на дороге  $v = 9 \text{ м/сек}$ , коэффициент поперечного скольжения  $\mu = 0,15$  и поперечный уклон дороги  $i_n = 0,05$ ?

75. При каком значении поперечного уклона на кривой, где коэффициент сцепления  $\varphi = 0,1$ , автопоезд (ЗИЛ-157 + 2-ГР-8) с нагрузкой 150 кн в случае остановки теряет устойчивость?

76. Ширина проезжей части гравийной дороги  $b = 6 \text{ м}$ , а ее поперечный уклон  $i_n = 4\%$ . Обочины имеют ширину 1 м и поперечный уклон  $i_n = 5\%$ . Расчетная скорость движения по дороге  $v = 11 \text{ м/сек}$ .

Определить возвышения наружной кромки проезжей части и бровки земляного полотна на кривой радиусом  $R = 50 \text{ м}$ .

77. Для грунтогравийной автомобильной дороги (рис. 2-25) определить объем земляных работ в кривой, радиус которой  $R = 100 \text{ м}$ , угол поворота  $\alpha = 0,7 \text{ рад}$ , уклон виражка  $i_v = 4\%$  и уклон отона выражена  $i_{\text{от.в}} = 10\%$ .

78. Определить, при каких дорожных условиях груженый автомобиль ЗИЛ-164 с прицепом-роспуском 1-Р-8, движущийся со скоростью  $v = 12,5 \text{ м/сек}$  по одностороннему профилю ( $i_v = 5\%$ )

кривой ( $R = 100 \text{ м}$ ), теряет устойчивость. Что произойдет при его остановке на кривой?

79. Определить коэффициент устойчивости автопоезда (МАЗ-200 + 2-Р-15), движущегося со скоростью  $v = 12 \text{ м/сек}$  по кривой, радиус которой  $R = 50 \text{ м}$ , поперечный уклон виражи  $i_v = 55\%$ , а состояние дороги характеризуется коэффициентом бокового скольжения  $\varphi_2 = 0,25$ .

80. Известно, что на прямом участке дороги ширина земляного полотна  $B = 10 \text{ м}$ , ширина проезжей части  $b = 7 \text{ м}$ , а уклон водосливной призмы  $i_n = 40\%$ . На кривой, радиус которой  $R = 125 \text{ м}$  и угол поворота  $\alpha = 0,75 \text{ рад}$ , проезжая часть уширена на  $0,8 \text{ м}$ , а наружная кромка поднята над внутренней на  $0,32 \text{ м}$ .

Какие предельные скорости можно допускать на кривой при коэффициентах бокового скольжения  $0,10; 0,15; 0,20$ ?

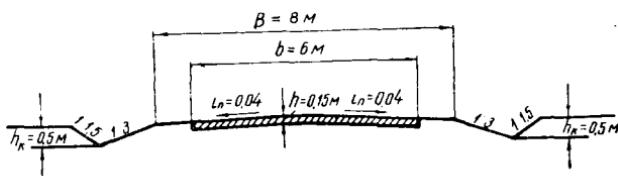


Рис. 2—26. Поперечный разрез дороги

81. Какую характеристику будут иметь виражи двух обратных кривых, радиусы которых равны  $100 \text{ м}$ , а углы поворота  $0,8 \text{ рад}$ , если расчетная скорость движения в грузовом направлении  $v_{gr} = 8,5 \text{ м/сек}$ , а в порожнем  $v_{por} = 12 \text{ м/сек}$ ? На прямом участке дорога имеет ширину  $B = 8 \text{ м}$ , уклон водосливной призмы  $i_n = 30\%$  и коэффициент продольного скольжения  $0,16$ .

82. Какой предельный поперечный уклон можно допустить по условию бокового скольжения автомобиля при его остановке, если коэффициент сцепления колес с дорогой равен  $0,15$ ?

83. Высота центра тяжести груженого лесовозного автомобиля равна  $1,15 \text{ м}$ , а ширина его колеи  $1,74 \text{ см}$ .

Определить условия, при которых произойдет опрокидывание автомобиля на сухой дороге с бетонным покрытием.

84. Определить коэффициент устойчивости автомобиля ЗИЛ-164 при движении его по местности с поперечным уклоном  $\alpha = 0,4 \text{ rad}$ , если высота расположения центра тяжести автомобиля с грузом  $h = 1,0 \text{ м}$ , а коэффициент сцепления  $\varphi = 0,6$ .

85. Рассчитать вираж и дать его чертежи во всех проекциях по следующим данным: угол поворота трассы  $\alpha = 0,89 \text{ rad}$ , радиус круговой кривой  $R = 100 \text{ м}$ , расчетная скорость движения  $v = 13 \text{ м/сек}$ , коэффициент поперечного сцепления  $\varphi_2 = 0,12$ , уширение проезжей части на закруглении  $e = 0,5 \text{ м}$ , длина переходной кривой  $L = 40 \text{ м}$ .

Дорога на прямом участке представлена на рис. 2—26.

86. Вычислить расстояние видимости, необходимое для обеспечения безопасного движения автомобиля на горизонтальном участке двухпутной автомобильной лесовозной дороги. Известно, что расчетная скорость движения  $v = 15 \text{ м/сек}$ , время реакции шоferа  $t = 1 \text{ сек}$ , коэффициент сопротивления движению  $f_0 = 0,04$ , коэффициент сцепления  $\varphi = 0,25$ , запасное расстояние безопасности  $S_3 = 5 \text{ м}$ .

87. На однопутной лесовозной дороге расчетная скорость движения в грузовом направлении  $v_{\text{гр}} = 8 \text{ м/сек}$  и в порожняковом  $v_{\text{пор}} = 12 \text{ м/сек}$ . Коэффициент сопротивления движению  $f_0 = 0,05$ , а коэффициент сцепления  $\varphi = 0,35$ .

Определить расчетное расстояние видимости на дороге.

88. Рассчитать расстояние видимости на колейной лесовозной дороге для случая, когда движущиеся навстречу друг другу два автомобиля встречаются на полосе, имеющей покрытие, и один из них вынужден сворачивать на неустроенную полосу.

За исходные при расчете принять следующие данные: скорость движения автомобиля с грузом  $v_1 = 7 \text{ м/сек}$ , без груза  $v_2 = 11 \text{ м/сек}$ , коэффициент бокового скольжения  $\varphi_2 = 0,25$ , поперечный уклон проезжей части  $i_n = 0,03$ , расстояние между осями автомобилей при встрече  $a = 4 \text{ м}$  и запасное расстояние  $S_3 = 10 \text{ м}$ .

89. Определить минимальное расстояние видимости для случая обезода экипажа, находящегося на дороге, если известно, что скорость движения автомобиля МАЗ-500 равна  $16 \text{ м/сек}$ , поперечный уклон проезжей части  $i_n = 0,04$ , коэффициент бокового скольжения  $\varphi_2 = 0,24$ .

90. Два автомобиля движутся навстречу друг другу на уклоне  $i = 40\%$ : один на подъем со скоростью  $v_1 = 7 \text{ м/сек}$ , другой на спуск со скоростью  $v_2 = 11 \text{ м/сек}$ . Чему равняется расчетное расстояние видимости, если коэффициент сопротивления движению  $f_0 = 0,05$ , а коэффициент сцепления  $\varphi_2 = 0,35$ ?

91. Определить из условия обеспечения видимости, на каком удалении от бровки земляного полотна должен быть откос выемки в кривой ( $\alpha = 0,7 \text{ rad}$ ,  $R = 50 \text{ м}$ ), если расстояние видимости  $S_b = 65 \text{ м}$ , ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$  и проезжей части  $b = 6 \text{ м}$ , а траектория движения водителя находится на расстоянии  $1,5 \text{ м}$  от кромки проезжей части и на высоте  $1,2 \text{ м}$ .

92. Определить допускаемое расстояние от траектории движения автомобиля до препятствия внутри кривой, если известны: расчетная видимость на дороге  $S_b = 50 \text{ м}$ , угол поворота трассы  $\alpha = 0,6 \text{ rad}$  и радиус кривой  $R = 100 \text{ м}$ .

93. При каком радиусе круговой кривой на двухпутной дороге, расположенной в просеке шириной  $24 \text{ м}$ , будет обеспечен необходимый обзор дороги на расстоянии, равном расчетной дальности видимости  $S_b = 200 \text{ м}$ ? Угол поворота дороги  $\alpha = 0,7 \text{ rad}$ .

94. Расчетное расстояние видимости на однопутной лесово-зной дороге ( $B = 4,5$ ;  $b = 3,5$  м) равно 80 м. Для кривой с углом поворота трассы  $\alpha = 0,8$  рад и радиусом закругления  $R = 50$  м построить зону видимости и определить графически максимально необходимое удаление препятствий от траектории движения автомобиля и бровки земляного полотна.

95. Для кривой с углом поворота  $\alpha = 0,9$  рад и радиусом  $R = 30$  м построить зону видимости, принимая за расчетное расстояние видимости  $S_v = 70$  м, ширину проезжей части  $b = 6$  м и ширину обочин  $a = 0,75$  м.

96. Построить кривую видимости и поперечные профили дороги, используя графический метод [7] и следующие исходные данные: угол поворота дороги  $\alpha = 0,8$  рад, радиус кривой  $R = 60$  м, ширина земляного полотна  $B = 8$  м, проезжая часть  $b = 6$  м, расчетное расстояние видимости  $S_v = 75$  м, рабочая отметка на кривой  $H = 0$ , поперечный уклон местности  $i = 20\%$ , кювет треугольный ( $m_1 = m_2 = 1,5$ ;  $h_k = 0,6$  м).

---

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Важнейшей составной частью проекта автомобильной дороги являются ее продольный и поперечный профили. Проектирование их связано с определением геометрических параметров земляного полотна в плане, в вертикальной и профильной плоскостях, а также с расчетом его объема, устойчивости и т. д.

#### 3—1. ПРОДОЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ДОРОГИ

Способ и характер проектирования продольного профиля дороги зависят от рельефа местности, грунтовых и гидрологических условий, а также от строительных и эксплуатационных требований, которые определены техническими условиями (ТУ) на проектирование.

Ввиду большого разнообразия природных условий заранее установленные решения для составления профиля не могут быть даны. Эти решения необходимо искать, учитывая конкретную топографическую и природную обстановку.

Продольный профиль в черных отметках (трассы) составляется на основании данных нивелировки или по плану местности в горизонталях. Горизонтальный масштаб продольного профиля обычно принимается 1 : 5000, а вертикальный — 1 : 500.

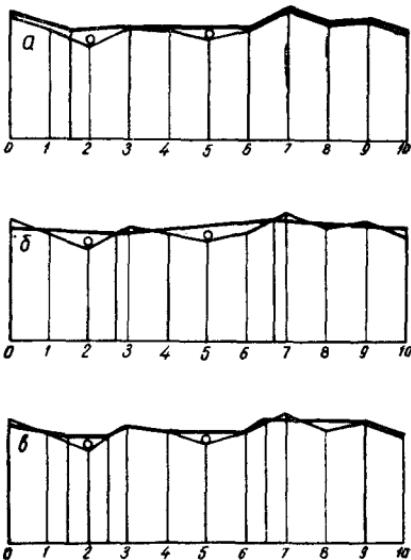


Рис. 3—1. Схема наложения проектной линии на продольный профиль:  
а — обвертывающая; б — секущая; в — комбинированная

Продольный профиль дороги определяется проектной (красной) линией, которая относится к бровке земляного полотна.

Проектная линия может быть запроектирована по обвертывающей (рис. 3—1, а), секущей (рис. 3—1, б) и комбинированным способом (рис. 3—1, в). При нанесении проектной линии в качестве исходных служат контрольные точки: рабочие отметки в местах расположения искусственных сооружений; пересечения железных и автомобильных дорог; отметки минимально необходимого возвышения бровки земляного полотна на затопляемых поймах, на болотах и бессточных впадинах.

Положение проектной линии также определяется отметками насыпей, рекомендуемых ТУ в зависимости от климатической зоны, грунтовых условий и уровня грунтовых вод (табл. 3—1).

Таблица 3—1

Грунт земляного полотна	Наименьшее возвышение низа дорожной одежды, м							
	II климатическая зона	III климатическая зона	IV климатическая зона	V климатическая зона				
	над поверхностью земли над уровнем грунтовых вод							
Пески средние и мелкие, супеси легкие . . . . .	0,6	0,8	0,5	0,7	0,4	0,6	0,3	0,5
Пески пылеватые, супеси тяжелые . . . . .	0,7	1,3	0,6	0,9	0,5	0,9	0,4	0,8
Пылеватые грунты и легкие суглинки . . . . .	0,8	2,0	0,7	1,8	0,5	1,5	0,5	1,4
Суглинки и глины . . . . .	0,9	2,0	0,7	1,5	0,6	1,2	0,5	1,1

С другой стороны, положение проектной линии определяется рекомендуемыми величинами руководящего и уравновешенного уклонов, шагом проектирования и допустимым объемом земляных работ.

Уклоны проектной линии в дорожном деле обычно выражаются десятичной дробью, в промилле ( $\%_{\text{о}}$ ), в процентах или в радианах. Соотношения между этими единицами измерения следующие:

$$1\%_{\text{о}} = 0,1\% = 0,001 = 0,001 \text{ rad};$$

$$1\% = 10\%_{\text{о}} = 0,010 = 0,010 \text{ rad}.$$

Численное значение уклонов местности или проектной линии вычисляется как отношение превышения одной точки над другой на расстояние между этими точками, т. е.

$$i = \frac{H_A - H_B}{L}, \quad (3-1)$$

где  $H_A$ ,  $H_B$  — отметки местности в точках  $A$  и  $B$ , м;

$L$  — расстояние между точками  $A$  и  $B$ ; м.

Величина руководящего уклона устанавливается на основании технико-экономических расчетов [50], причем наиболее выгодным руководящим уклоном следует считать тот, при котором сумма строительных и эксплуатационных расходов будет минимальной.

Предельное значение их дано в табл. 3—2.

Таблица 3—2

Виды дорог	Значение предельных руководящих уклонов в $\%$ при рельефе		
	равнинном	холмистом	горном
Магистрали, ветки и усы дорог I и II категорий . . . . .	30	50	70
Магистрали, ветки и усы дорог III категории и лесохозяйственных дорог . . . . .	40	60	90
Хозяйственные дороги и дороги, не имеющие выраженного грузооборота . . . . .	70	90	110
Магистрали, ветки и усы с колейным деревянным покрытием . . . . .	30	40	50

Уравновешенный уклон обычно устанавливается в соответствии с топографическими условиями. В трудных условиях его величина на  $10-20\%$  может быть больше величины принятого руководящего уклона.

Особое внимание необходимо обращать на проектирование продольного профиля в местах устройства искусственных сооружений — мостов и труб. Высота насыпи должна быть достаточной, чтобы разместить трубы и мосты. На больших мостах (длина свыше 100 м) продольный уклон проезжей части в обычных условиях не должен превышать  $20\%$ . На средних и малых мостах при продольной укладке досок настила предельный уклон  $20\%$ , а при поперечной —  $30\%$ . При больших уклонах проектной линии на мостах необходимо устраивать покрытие, принятое на дороге. Переломы продольного профиля на мостах не допускаются.

Расстояние между вершинами двух смежных переломов проектной линии (шаг проектирования) на магистралях не менее 50 м,

а на ветках 30 м, в особо трудных условиях его величина может быть уменьшена до 20 м.

При проектировании уклонов продольного профиля обращается внимание не только на их величину, но и на их сопряжение.

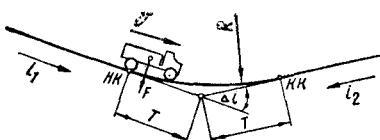


Рис. 3—2. Вертикальная вогнутая кривая

Резкие переломы профиля смягчаются устройством вертикальных кривых. Вертикальные кривые устраивают для смягчения толчков как на вогнутых, так и на выпуклых переломах профиля. На выпуклых кривых учитываются, помимо этого, условия обеспечения видимости.

Радиус вогнутых вертикальных кривых (рис. 3—2) определяется по условиям допускаемой перегрузки рессор от действия центробежной силы

$$F = \frac{mv^2}{R} \text{ н.} \quad (3-2)$$

При этом допускаемая величина ускорения  $a = \frac{F}{m}$  принимается равной 0,5 м/сек<sup>2</sup>, а расчетная формула для определения величины радиуса вогнутой кривой будет иметь вид

$$R \geq 2v^2 \text{ м,} \quad (3-3)$$

где  $v$  — скорость движения автомобиля, м/сек.

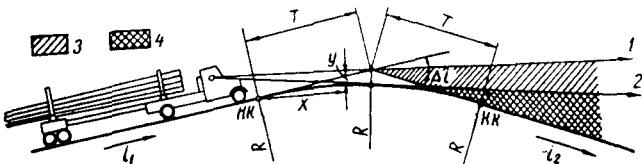


Рис. 3—3. Перелом продольного профиля и вертикальная выпуклая кривая:  
1 — луч зрения водителя при отсутствии вертикальной кривой; 2 — луч зрения водителя при наличии вертикальной кривой; зона отсутствия видимости; 3 — без кривой; 4 — при наличии кривой

Для обеспечения видимости ночью на вогнутых кривых рекомендуется назначать их радиусы при  $a = 0,14 \text{ м/сек}^2$ , т. е.

$$R \geq 7,1v^2 \text{ м.} \quad (3-3 \text{ a})$$

Радиус выпуклых вертикальных кривых (рис. 3—3) назначается с таким расчетом, чтобы водитель мог видеть проезжую часть дороги (встречный транспорт) на заданном расстоянии видимости  $S_v$ . Минимальное значение радиуса в этом случае определяется по формуле

$$R_{\min} = \frac{S_v^2}{2d} \text{ м,} \quad (3-4)$$

где  $d$  — возвышение глаза водителя под поверхностью дороги; обычно принимают  $d = 1,2 \text{ м}$ .

В том случае, если по условию обеспечения видимости вертикальная выпуклая кривая не требуется, то ее необходимо назначить по условию плавности движения автомобиля, т. е. принимать радиус, равный радиусу вогнутой кривой.

По ТУ рекомендуются следующие наименьшие радиусы вертикальных кривых (табл. 3—3).

Т а б л и ц а 3—3

Виды дорог	Наименьшие радиусы кривых, м			
	выпуклых		вогнутых	
	равнинный и холмистый рельеф	горный рельеф	равнинный и холмистый рельеф	горный рельеф
Магистрали:				
I категории . . . . .	2500	1000	500	200
II категории . . . . .	1000	600	200	100
III категории . . . . .	600	400	100	100
Ветки и усы . . . . .	250	150	100	100

Для разбивки вертикальных кривых нужно знать сумму встречных или разность попутных уклонов  $\Delta i$ , т. е. алгебраическую разность и величину радиуса  $R$ .

Значение основных элементов вертикальных кривых обычно определяется по приближенным формулам:

$$\text{кривая } K \simeq R\Delta i; \quad (3-5)$$

$$\text{тангенс } T \simeq \frac{K}{2} \simeq \frac{R\Delta i}{2}; \quad (3-6)$$

$$\text{биссектриса } B \simeq \frac{T^2}{2R} \simeq \frac{K^2}{8R}. \quad (3-7)$$

Ордината любой промежуточной точки, находящейся от начала кривой на расстоянии  $x$ , определяется из выражения

$$y = \frac{x^2}{2R}. \quad (3-8)$$

Этим же выражением пользуются для определения поправок к рабочим отметкам.

На продольном профиле в пределах вертикальных кривых пишутся неисправленные и исправленные рабочие отметки, причем неисправленные пишутся в скобках.

Продольный профиль автомобильных лесовозных дорог оформляется в соответствии с требованиями Н и ТУ № 128—55. Образец оформления продольного профиля представлен на рис. 3—4.

## 3—2. ПОПЕРЕЧНЫЕ ПРОФИЛИ ДОРОГИ

Поперечный профиль представляет собой проекцию дороги с относящимися к ней сооружениями на вертикальную плоскость, перпендикулярную к оси дороги. Ширина земляного полотна в поперечном профиле соответствует расстоянию между бровками и определяется по формуле (2—20).

Ширина просеки должна быть достаточной для размещения земляного полотна и других дорожных сооружений — водоотводных канав, резервов, кавальеров и т. д.

Минимальная ширина просеки (*m*) принимается:

для магистральных лесовозных дорог . . . . . 40

для веток и лесохозяйственных дорог . . . . . 18

для зимних дорог:

при прокладке грузового и порожнякового пути

в одной просеке . . . . . 12

при прокладке в разных просеках:

грузового пути . . . . . 7

порожнякового пути . . . . . 5

Полоса отвода устанавливается не менее ширины просеки. Для обеспечения стока дождевых и талых вод поверхность земляного полотна дороги должна быть выпуклой, и поэтому она выполняется в виде водосливной призмы. Последняя может иметь треугольную, трапециoidalную и параболическую форму. Основной характеристикой водосливной призмы является поперечный уклон, который для лесовозных дорог в зависимости от типа покрытия принимается равным:

грунтовое улучшенное, грунtogравийное, грунто-

щебеночное, щебеночное и гравийное . . . 0,03—0,04

черные щебеночные и черные гравийные, покры-

тия из грунтов, укрепленных вяжущими . . 0,02—0,03

цементно-бетонные и асфальтобетонные . . 0,015—0,020

Поперечный уклон обочин для дорог с двухполосным движением принимается на 0,01—0,02 больше уклона проезжей части.

Поверхности земляного полотна придается также двухскатный поперечный профиль с поперечным уклоном: при устройстве серповидного покрытия — 10—30 $\%$ ; при применении корытного или полукорытного покрытия — равным уклону проезжей части; при устройстве дорог без покрытия — 40—50 $\%$ .

Крутизна откосов, насыпей, выемок и водоотводных канал зависит от рода грунта [78], высоты откоса и способа производства работ и применяемых средств механизации.

Типовые поперечные профили для автомобильных лесовозных дорог приведены в приложении.

Решение задач механизации строительства дорог приводит к необходимости учитывать вопросы поперечного равновесия

грунтовых масс. Сечение боковых канав (резервов) должно назначаться таким, чтобы вынутого из них грунта было достаточно для отсыпки насыпей заданных размеров.

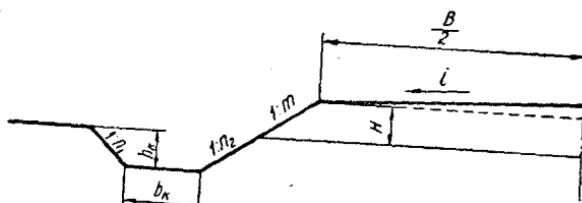


Рис. 3—5. Схема для расчета поперечного равновесия грунтовых масс

Учитывая это, глубину трапецидальных двухсторонних (рис. 3—5) и треугольных боковых канав следует определять по формуле

$$h_k = \frac{\sqrt{b_k^2 + (n_1 + n_2)(BH + mH^2 + 0,25B^2i)} - b_k}{n_1 + n_2}. \quad (3-9)$$

С другой стороны, принимая глубину канавы постоянной, можно определить необходимую ширину ее по дну по формуле

$$b_k = \frac{1}{2h_k}(BH + mH^2 + 0,25B^2i) - \frac{h_k}{2}(n_1 + n_2). \quad (3-10)$$

Глубину треугольных канав можно определить также по формуле (9), приняв  $b_k = 0$ .

Аналогично решается вопрос выбора поперечного сечения резервов. При определении размеров резерва необходимо задаться средней его глубиной  $h_0$ , учитывая характер грунтов и уровень грунтовых вод, и затем вычислить остальные размеры.

В частности, для резерва с односкатным дном (рис. 3—6, а) получим:

$$b_1 = \frac{F}{h_0} + 1,25h_0; \quad b_2 = \frac{F}{h_0} - 1,25h_0; \quad (3-11)$$

$$h_1 = h_0 - 0,01b_2; \quad h_2 = h_0 + 0,01b_2, \quad (3-12)$$

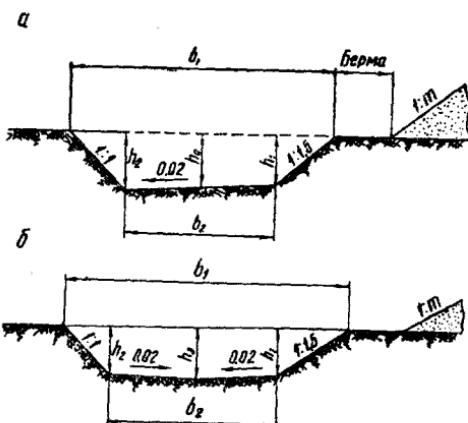


Рис. 3—6. Поперечные сечения резервов:  
а — с односкатным; б — с двухскатным дном

где  $F$  — площадь поперечного сечения насыпи, средняя для разбиваемого участка пути.

В том случае, когда поперечный уклон дна резерва делается к его середине (рис. 3—6, б),  $b_1$  и  $b_2$  вычисляются по тем же формулам (11), а глубина резерва по краям  $h_1$ ,  $h_2$  и по середине  $h_3$  вычисляется по формулам:

$$h_1 = h_2 = h_0 - 0,005b_2; \quad h_3 = h_0 + 0,005b_2. \quad (3-13)$$

Для случая, когда резервы закладываются по обе стороны от полотна дороги, в формулах (11) вместо значения  $F$  подставляется  $\frac{F}{2}$  при симметричных резервах или же  $F_1$  и  $F_2$  (причем  $F_1 + F_2 = F$ ) при несимметричных резервах.

### 3—3. РАСЧЕТЫ ОБЪЕМОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Важное значение при проектировании и строительстве дороги отводится вопросам расчета объема земляного полотна, от которого во многом зависят объем работ по сооружению дороги, технология строительства, трудозатраты и ее стоимость.

Вычисление объема земляного полотна может производиться аналитически по формулам [28, 34], по графикам и номограммам [74, 75], по таблицам и при помощи счетно-решающих машин.

Аналитически подсчет объема земляного полотна чаще всего производится по участкам между двумя смежными рабочими отметками продольного профиля отдельно для насыпей и для выемок.

Этот способ получил название «попикетного» в отличие от помассивного, когда объем насыпи или выемки вычисляется в один прием.

При попикетном расчете объем насыпи между точками  $H_1$  и  $H_2$  при отсутствии уклона в поперечном направлении вычисляется по формуле

$$V_n = (a + BH_{cp} + mH_{cp}^2) L_n \quad m^3, \quad (3-14)$$

а при наличии поперечного уклона и при учете поправки, которая обычно вводится при разности рабочих отметок  $H_2 - H_1 > 1$  м и длине рассматриваемого участка насыпи  $L_n > 50$  м, по формуле

$$V_n = \left[ a + \frac{BH_{cp} + mH_{cp}^2 + \frac{1}{4} \frac{m}{n_1^2} B^2}{1 - \frac{m^2}{n_1^2}} + \right. \\ \left. + \frac{m(H_2 - H_1)^2}{12} \right] L_n \quad m^3, \quad (3-15)$$

где

$a$  — площадь поперечного сечения водосливной призмы:

при треугольной форме  $a_{\Delta} = \frac{B^2 i}{4}$ ;

при параболической  $a_{\Delta} = \frac{1}{3} B^2 i$ ;

$i$  — поперечный уклон водосливной призмы;

$H_{cp} = \frac{H_1 + H_2}{2}$  — средняя рабочая отметка на рассматрива-

емом участке (рис. 3—7);

$m$  и  $n_1$  — коэффициенты откосов насыпи и местности

(при  $n_1 \geq 10$  можно принимать  $\frac{1}{n_1^2} = 0$ );

$B$  — ширина земляного полотна, м;

$L_n$  — длина участка насыпи между отметками  $H_1$  и  $H_2$ , м.

Объем выемки при попикетном подсчете равен:

а) при отсутствии поперечного уклона местности и без учета поправки

$$V_b = [2\omega_k - a + (B + 2b) H_{cp} + mH_{cp}^2] L_b; \quad (3-16)$$

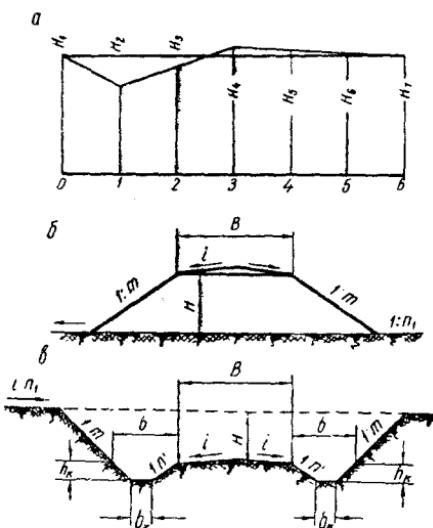


Рис. 3-7. Расчетные схемы для определения объема земляного полотна:

а — участок продольного профиля; б — поперечный профиль насыпи; в — поперечный профиль выемки

б) при наличии поперечного уклона и при учете поправки

$$V_B = \left[ 2\omega_k - a + \frac{(B+2b)H_{cp} + mH_{cp}^2 + \frac{1}{4} \frac{m}{n_1^2} (B+2b)^2}{1 - \frac{m^2}{n_1^2}} + \right. \\ \left. + \frac{m(H_2 - H_1)^2}{12} \right] L_B, \quad (3-17)$$

где  $\omega_k$  — площадь поперечного сечения кювета, равная

$$\omega_k = b_k h_k + \frac{h_k^2}{2} (m + n');$$

$b$  — ширина кювета на уровне бровок, равная

$$b = b_k + h_k (m + n').$$

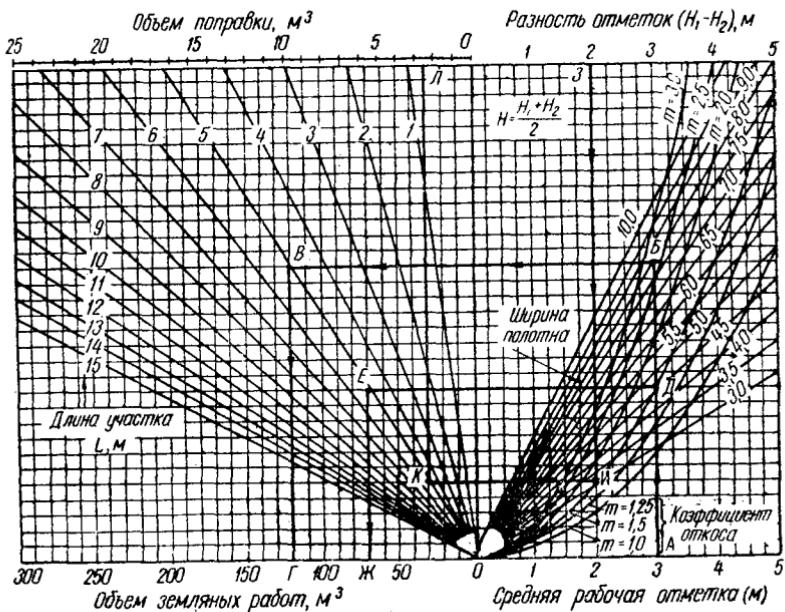


Рис. 3—8. Номограмма для подсчета объема полотна дороги

В основу других методов определения объема земляного полотна положены формулы (14—17), поэтому, владея методом аналитического расчета, их успешно можно использовать в практических целях.

Так, на рис. 3—8 приведена номограмма, которая позволяет сравнительно просто рассчитывать объемы насыпей и выемок

при их ширине в пределах от 3 до 10 м и при крутизне откосов от 1:1 до 1:3.

Определение объема земляных работ с помощью этой номограммы состоит в следующем. По оси абсцисс первого квадранта откладываем рабочую отметку (например,  $H_{cp} = 3$  м, точка А). Через нее проводим вертикаль, которая пересечет ряд прямых и кривых линий. Отыскиваем прямую, цифра на которой соответствует ширине насыпи или выемки. Возьмем к примеру ширину насыпи, равную 8 м. Через точку пересечения вертикали с прямой (Б) проводим горизонталь во второй квадрант до встречи с прямой, соответствующей длине участка (например,  $L = 5$  м). Полученную точку В проектируем на горизонтальную ось и получаем первую часть объема ( $\Gamma$ ). В нашем случае  $V = 120 \text{ м}^3$ . После этого возвращаемся в первый квадрант и находим точку Д, где вертикаль пересекла кривую с цифрой, соответствующей принятому коэффициенту откоса (например,  $m = 1,5$ ). Через точку Д проводим горизонталь во второй квадрант. Точку (Е) пересечения горизонтали с прямой ( $L$ ) проектируем на ось абсцисс и находим вторую составную часть объема ( $\mathcal{K}$ ), т. е.  $V_2 = 67,5 \text{ м}^3$ .

Для определения поправки на оси абсцисс (вверху) откладываем разность отметок  $H_1 - H_2$  (например, 2 м) — точка З. Из полученной точки опускаем вертикаль до встречи с принятой ранее кривой ( $И$ ). Далее проводим горизонталь до пересечения с прямой  $L$ . Точку пересечения К проектируем вверх и получаем поправку объема ( $Л$ ). Для принятых исходных данных  $V_3 = 2,5 \text{ м}^3$ .

Общий объем в таком случае будет равен

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 120 + 67,5 + 2,5 = 190 \text{ м}^3.$$

Если длина участка будет равна 50 м, то объем, полученный для  $L = 5$  м, необходимо умножить на десять.

Номограмма не учитывает объема водосливной призмы. Однако последняя на всем протяжении участка проектируемой дороги чаще всего имеет одинаковые размеры, и поэтому определение ее известными способами трудностей не представляет.

Результаты расчета объема земляного полотна используются для построения кривой его объемов (рис. 3—9) и графика распределения земляных масс [7]. Кривая объемов полотна строится в определенном масштабе. С нарастающим итогом объем выемок откладывается вверх, а насыпей — вниз.

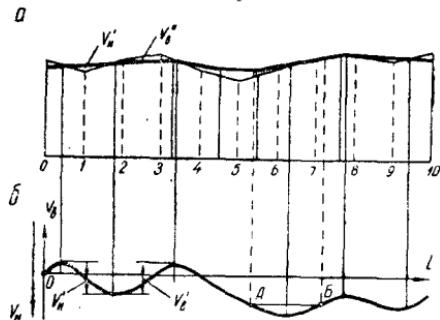


Рис. 3—9. Продольный профиль (а) и кривая объемов земляного полотна (б)

Кривую объемов целесообразно строить при чередовании выемок и насыпей, когда грунт выемок может быть использован для отсыпки насыпей; при возведении насыпи из резерва кривую объемов строить нет необходимости.

Анализируя ход построения кривой объемов, нетрудно убедиться, что всякая прямая, проведенная параллельно оси (например,  $A - B$ ), отсекает равные объемы выемки и насыпи.

Воспользовавшись этим свойством, кривую объемов можно использовать: для определения средней дальности возки грунта, решения вопроса рационального распределения земляных масс, выбора оптимальной технологической схемы возведения земляного полотна и для решения других вопросов, связанных с расчетом и выполнением земляных работ.

### 3—4. УСТОЙЧИВОСТЬ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Устойчивость земляного полотна в процессе эксплуатации дороги обеспечивается приданием ему при строительстве необходимых проектных размеров и формы, правильным подбором грунтов и соответствующей их отсыпкой, своевременным и качественным содержанием его.

Немаловажное значение для устойчивости земляного полотна играет также его водно-тепловой режим в течение года.

На основании богатого опыта строительства и эксплуатации автомобильных дорог в различных климатических и грунтовых условиях в настоящее время установлены типовые поперечные профили, обеспечивающие устойчивую работу земляного полотна.

Однако эти типовые профили не всегда могут быть применены при проектировании автомобильных лесовозных дорог в силу наличия на территории лесосырьевых баз болот и неустойчивых грунтов, высокого стояния грунтовых вод и других специфических и сложных условий лесотранспорта. Проектирование новых поперечных профилей дороги и обоснование применимости типовых связаны с расчетом земляного полотна на устойчивость.

Устойчивость откосов, насыпей и выемок проверяется по условиям предельного равновесия определяемых по методам и законам механики грунтов, а именно

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \varphi + \frac{c}{\gamma h g \cos \alpha}, \quad (3-18)$$

где  $\varphi$  — угол внутреннего трения;

$c$  — сцепление,  $\text{n/m}^2$ ;

$\gamma$  — объемная масса грунта,  $\text{кг/m}^3$ ;

$h$  — высота откоса,  $m$ ;

$g$  — ускорение, равное  $9,81 \text{ m/sec}^2$ .

Принимая характеристики грунта  $\varphi$ ,  $c$ ,  $\gamma$  как постоянные,

можно построить кривую естественного откоса связного грунта (рис. 3—10, б) и  $\varphi$  и  $\gamma$  — несвязного грунта (рис. 3—10, а).

Для сыпучих грунтов, как известно,  $c = 0$ , а поэтому  $\alpha = \varphi$ .

В связных сухих грунтах величина коэффициента трения незначительна по сравнению со сцеплением; пренебрегая ею, получим

$$\sin \alpha = \frac{c}{\gamma h g}. \quad (3-19)$$

Устойчивость насыпей и выемок, ограниченных откосами, проверяется путем сравнения сил, смещающих и удерживающих отдельные части этих массивов. Наибольшее распространение для этих целей получил графоаналитический метод, сущность которого разобрана ниже на конкретном примере.

Наряду с графоаналитическим методом в практике расчета устойчивости насыпей автомобильных дорог применяется метод профессора М. Н. Гольдштейна. Коэффициент устойчивости по этому методу определяется из выражения

$$K = \operatorname{tg} \varphi A + \frac{c}{\gamma h g} B, \quad (3-20)$$

где  $A$  и  $B$  — коэффициенты, зависящие от геометрических размеров вертикальных элементов (табл. 3—4).

Таблица 3—4

Крутиз- на от- коса	Поверхность скольжения проходит через основание на глубине									
	$e = 0$		$e = 0,25h$		$e = 0,5h$		$e = 1,0h$		$e = 1,5h$	
	$A$	$B$	$A$	$B$	$A$	$B$	$A$	$B$	$A$	$B$
1 : 1,00	2,34	5,79	2,56	6,10	3,17	5,92	4,32	5,80	5,78	5,75
1 : 1,25	2,64	6,05	2,66	6,32	3,24	6,02	4,43	5,86	5,86	5,80
1 : 1,50	2,64	6,50	2,80	6,53	3,32	6,13	4,54	5,93	5,94	5,85
1 : 1,75	2,87	6,58	2,93	6,72	3,41	6,26	4,66	6,00	6,02	5,90
1 : 2,00	3,03	6,70	3,10	6,87	3,53	6,40	4,78	6,08	6,10	5,95
1 : 2,25	3,19	7,27	3,26	7,23	3,66	6,56	4,90	6,16	6,18	5,98
1 : 2,50	3,53	7,30	3,46	7,62	3,82	6,74	5,03	6,26	6,26	6,02
1 : 2,75	3,59	8,02	3,68	8,00	4,02	6,95	5,17	6,36	6,34	6,05
1 : 3,00	3,59	8,81	3,93	8,40	4,24	7,20	5,31	6,47	6,44	6,09

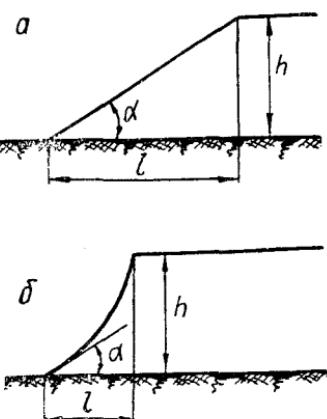


Рис. 3—10. Форма естественных устойчивых откосов:  
а — песчаный грунт; б — связный грунт

Средние значения углов внутреннего трения ( $\phi$ ), сцепления ( $c$ ) и объемной массы ( $\gamma$ ) некоторых связных грунтов приведены в табл. 3—5 (по Н. Н. Маслову).

Таблица 3—5

Консистенция грунта	Глина			Суглинок			Супесь		
	$\gamma, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\phi, \text{рад}$	$c, \text{ кН}/\text{м}^2$	$\gamma, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\phi, \text{рад}$	$c, \text{ кН}/\text{м}^2$	$\gamma, \text{ кг}/\text{м}^3$	$\phi, \text{рад}$	$c, \text{ кН}/\text{м}^2$
Твердая . .	2,15	0,38	100	2,15	0,44	60	2,05	0,49	20
Полутвердая	2,10	0,35	60	2,10	0,40	40	2,00	0,45	15
Твердопластичная .	2,05	0,31	40	2,00	0,37	25	1,95	0,42	10
Мягкопластичная .	1,95	0,24	20	1,90	0,30	15	1,90	0,35	5
Текучепластичная .	1,90	0,14	10	1,85	0,23	10	1,85	0,31	2
Текучая . .	1,80	0,10	5	1,80	0,18	5	1,80	0,24	0

Наиболее вероятна потеря устойчивости подтопленных насыпей, находящихся в поймах рек. На них, помимо указанных факторов, влияет величина гидравлического давления. С учетом его момент сдвигающих сил на основании расчетной схемы, представленной на рис. 3—11, определяется по формуле

$$M_{cd} = R \left( \sum_1^n P_n \sin \alpha_n + \sum_1^m P_m \sin \alpha_m \right) + \sum_1^m D_m S_m, \quad (3-21)$$

где  $R$  — радиус кривой скольжения, определяемой из чертежа, м;  
 $P_n$  — вес элементарной части грунта, расположенной выше линии депрессии;

$P_m$  — вес элементарной части грунта, расположенной ниже поверхности депрессии;

$\alpha_n$  — угол, образуемый осью  $oy$  и радиусом, проходящим через точку пересечения направления действия силы  $P_n$  или  $P_m$  с кривой скольжения;

$D_m$  — гидродинамическое давление на 1 м длины насыпи, приближенно равное

$$D = \frac{1}{g} IF \Delta_0, \text{ кН};$$

$I$  — гидравлический градиент (средний уклон кривой депрессии);

$F$  — площадь водонасыщенной части сечения,  $\text{м}^2$ ;

$\Delta_0$  — удельный вес воды,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$S_m$  — плечо гидродинамического давления относительно центра кривой скольжения для  $n$ -й элементарной части.

Гидравлический градиент  $I$  в зависимости от вида грунта имеет следующие значения:

песчаные крупнозернистые грунты . . . . .	0,003—0,006
пески . . . . .	0,006—0,020
супесчаные грунты . . . . .	0,020—0,050
суглинки . . . . .	0,050—0,100
глинистые грунты . . . . .	0,100—0,150
тяжелые глинистые грунты . . . . .	0,150—0,200
торфяные грунты . . . . .	0,020—0,120

Величина удерживающего момента зависит от сил трения и сцепления на кривой скольжения  $AGB$ . Для сухого участка  $BG$

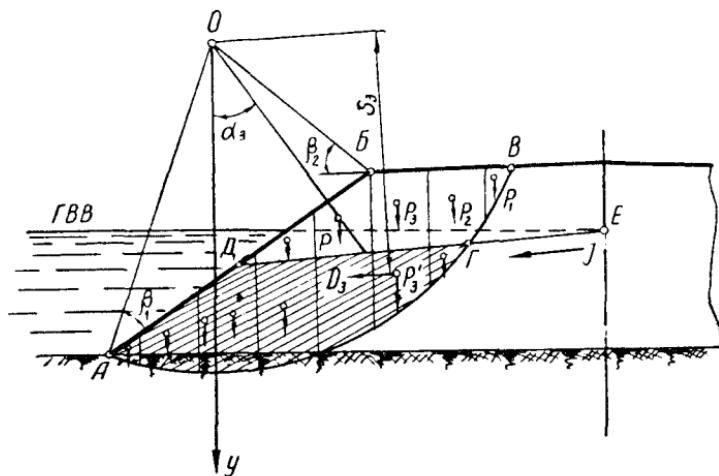


Рис. 3—11. Схема к расчету насыпи, насыщенной водой:  
 $AGB$  — кривая скольжения;  $EGD$  — линия депрессии

и водонасыщенного  $AG$  они учитываются различными характеристиками грунта. Значение удерживающего момента определяется по формуле

$$M_y = R(c_1l_1 + c_2l_2) + R \left( \sum_1^n P_n \cos \alpha_n \operatorname{tg} \varphi_1 + \right. \\ \left. + \sum_1^m P_m \cos \alpha_m \operatorname{tg} \varphi_2 \right) \dots \quad (3-22)$$

Вычислив  $M_{cd}$  и  $M_y$ , определим коэффициент устойчивости из выражения

$$K = \frac{M_y}{M_{cd}}. \quad (3-23)$$

На косогоре (рис. 3—12, а) вес насыпи раскладывается на две составляющие. Составляющая  $Q \sin \alpha$  стремится сдвинуть насыпь вниз по наклону местности. Этому смещению препятствуют силы сцепления и силы трения между грунтом насыпи и грунтом косогора.

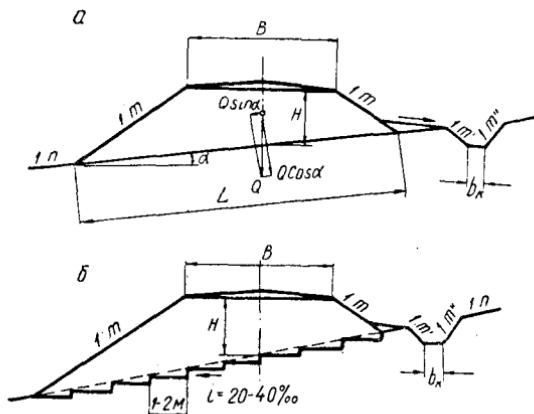


Рис. 3—12. Расчетные схемы для определения устойчивости насыпи на косогоре

Устойчивость будет обеспечена при условии, если

$$Q \sin \alpha < Q \cos \alpha \operatorname{tg} \varphi + Lc, \quad (3-24)$$

где  $Q$  — вес насыпи,  $n$ ;

$\alpha$  — поперечный угол наклона местности;

$\operatorname{tg} \varphi$  — коэффициент трения между грунтом насыпи и грунтом косогора;

$L$  — ширина основания насыпи;

$c$  — сцепление,  $n/m^2$ .

Коэффициент устойчивости насыпи от бокового сползания равен

$$K = \frac{cL}{Q \sin \alpha} + \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \alpha}. \quad (3-25)$$

При крутизне косогора менее 1:5 насыпь, как правило, обладает достаточной устойчивостью и может возводиться без дополнительных устройств. Если же крутизна косогора больше 1:5, то поверхность его сначала разделяется уступами шириной 1—2 м (рис. 3—12, б) и только после этого возводится насыпь.

Земляное полотно, возводимое на слабых основаниях, подлежит расчету на устойчивость от просадок основания. В качестве критерия устойчивости в этом случае принимается коэффициент, равный

$$K_0 = \frac{P_{\text{нас}}}{P_k}, \quad (3-26)$$

где  $P_{\text{нас}}$  — удельное давление насыпи на основание,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;

$P_{\text{k}}$  — критическое удельное давление, при котором начинаются пластические деформации основания.

Значение  $P_{\text{k}}$  определяется по формуле

$$P_{\text{k}} = (\gamma g H + c \operatorname{ctg} \varphi) \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} e^{-\pi \operatorname{tg} \varphi} - c \operatorname{ctg} \varphi, \quad (3-27)$$

где  $H$  — глубина погружения насыпи,  $\text{м}$ ;

$\gamma$  — объемная масса влажного грунта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$g$  — ускорение земного притяжения,  $\text{м}/\text{сек}^2$ ;

$c$  — сцепление грунта,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;

$\varphi$  — угол внутреннего трения.

Минимальное значение коэффициента устойчивости насыпи из условия бокового выпирания принимается обычно не менее 1,5. При меньшем значении  $K_0$  необходимо предусматривать меры по обеспечению устойчивости насыпи.

Наряду с расчетами размеров и формы земляного полотна, обладающего достаточной устойчивостью, важное значение имеют также вопросы обеспечения его стабильности в процессе эксплуатации.

К числу главнейших мероприятий, обеспечивающих стабильность земляного полотна, относятся: защита его от размыва по-

Т а б л и ц а 3—6

Тип укрепления	Характеристика материала	Условия применения
Посев трав	Смесь семян трав	Незатопляемые откосы насыпей высотой 2—6 м и откосы выемок глубиной до 2 м
Дерновка лентами	Дерн толщиной 6—8 см и шириной 25 см	Верхняя бровка откоса насыпи
Сплошная дерновка с пришивкой спицами	Дерн толщиной 6—8 см и шириной 20—25 см	Откосы глинистых выемок, конусов берм, а также водоотводных каналов при скорости течения до 1 м/сек
Дерновка в клетку с за-севом промежутков травой	Дерн толщиной 6—8 см и шириной 20—25 см, смесь трав	Откосы выемок от 1 до 6 м и незатопляемые откосы насыпей высотой 2—6 м
Дерновка в стенку тол-шиной 20—40 см	Дерн толщиной 6—8 см и шириной 20—25 см	Откосы насыпей круче 1 : 1, конусы искусственных сооружений
Одиночная мостовая на мху или щебне, толщи-на слоя 15—25 см	Камень, мох или щебень	Откосы насыпей в пределах горизонтов омывающей их воды

верхностными водами, понижение или перехват подземных вод, устройство изоляционных прослоек и теплозащитных покрытий, регулирование поверхностного стока и др.

Для защиты откосов, выемок и насыпей от размыва применяются укрепления. Тип укрепления зависит от характера грунта, срока службы дороги, климатических и гидрологических условий, а также от наличия местных материалов, пригодных для укрепительных работ.

Основные типы укреплений приведены в табл. 3—6.

Понижение уровня подземных вод достигается в результате устройства дренажей [4]. Кроме того, отрицательное влияние подземных (грунтовых) вод на работу земляного полотна может быть значительно уменьшено путем устройства в его теле фильтрующих прослоек толщиной 5—30 см, которые прерывают перемещение капиллярной, пленочной и парообразной влаги. Регулирование водного режима земляного полотна и поверхностного стока осуществляется также посредством системы дорожного водоотвода, включающей искусственные сооружения, кюветы, канавы, дамбы и т. д.

### 3—5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Пример 13.** Определить максимально допустимый подъем в грузовом направлении для автомобиля ЗИЛ-164 с прицепом-роспуском 1-Р-4, если известно, что расчетная сила тяги автомобиля  $F = 14,5 \text{ кн}$ , а коэффициент основного сопротивления движению  $f_0 = 0,04$ .

**Решение.** 1. По технической характеристике находим вес автомобильного поезда, нагруженного до полной грузоподъемности:

$$\begin{array}{r} \text{вес автомобиля } P_a + Q_a = 40 + 39,8 = 79,8 \text{ кн} \\ \text{вес роспуска } P_p + Q_{np} = 40 + 11,7 = 51,7 \text{ кн} \\ \hline \text{Вес поезда} & 131,5 \text{ кн} \end{array}$$

2. Максимальный (руководящий) подъем определяем по формуле

$$i_p = \frac{F_p - (P_a + P_p + Q_a + Q_{np}) f_0}{P_a + P_p + Q_a + Q_{np}} = \frac{14,5 - 131,5 \cdot 0,04}{131,5} = 0,07.$$

**Ответ.** При указанных значениях максимально допустимый подъем на дороге  $i_p = 0,07$ .

**Пример 14.** Два элемента продольного профиля образуют перелом, показанный на рис. 3—13.

Вычислить радиус и элементы выпуклой вертикальной кривой, при которых видимость автомобиля МАЗ-500 будет обеспечена на расстоянии 69 м.

**Решение.** 1. Радиус выпуклой вертикальной кривой по условиям обеспечения видимости определяется по формуле

$$R = \frac{s^2}{2d}.$$

Принимая возвышение траектории водителя над проездной частью  $d = 1,2 \text{ м}$ , получим

$$R = \frac{69^2}{2 \cdot 1.2} = 2000 \text{ m.}$$

2. Величина кривой, тангенса, биссектрисы, а также ординаты промежуточных точек могут быть вычислены по формулам (5—8).

При алгебраической разности  $\Delta i = i_1 + i_2 = 0,02 + 0,03 = 0,05$  они будут равны:

$$\text{кривая } K = 2000 \cdot 0,05 = 100 \text{ м;}$$

$$\text{тангенс } T = 100 : 2 = 50 \text{ м;}$$

$$\text{биссектриса } B = \frac{50^2}{2 \cdot 2000} = 0,62 \text{ м.}$$

### Ординаты промежуточных точек, м

при  $x = 5$        $y = 0,01$

»  $x = 10$      $y = 0,02$

»  $x = 15$      $y = 0.05$

»  $x = 20$      $y = 0.10$

$$\pi(x=20) = 0.16$$

»  $x = 25$        $y = 0,16$

» x = 30 y = 0,22

»  $x = 35$        $y = 0,30$

»  $x = 40$        $y = 0,40$

»  $x = 45$        $y = 0.51$

$$\Rightarrow x = 50 \quad y = 0.62$$

После этого обозначим на схеме продольного профиля вертикальную кривую условным знаком, выпиши исправление в рабочие отм

**Пример 15.** Рассчитать объем земляных работ на участке дороги (рис. 3—14), характеризующемся следующими размерами: ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$ ; коэффициенты откосов насыпи  $m = 1,5$ , выемки  $m = 1,25$ ; кюветы треугольные:  $n_b = 1,5$ ;  $n_u = m = 1,25$ ;  $h_k = 0,8 \text{ м}$ ; водосливная призма параболической формы со стрелой выпуклости  $f = 0,2 \text{ м}$ .

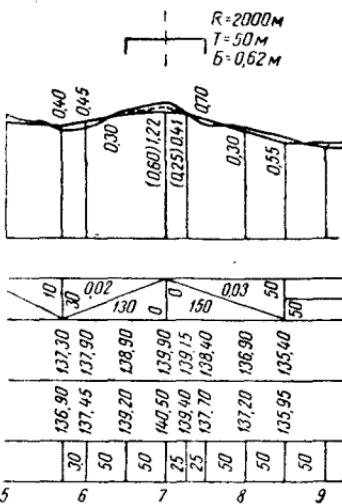


Рис. 3—13. Разбивка выпуклой вертикальной кривой

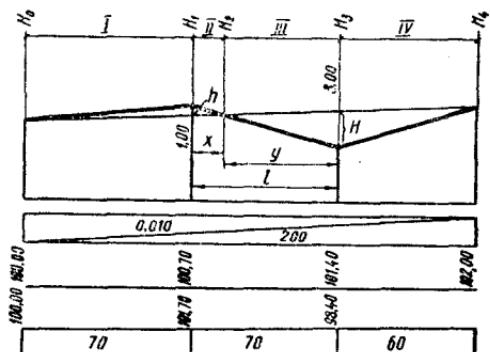


Рис. 3—14. Участок продольного профиля дороги

**Решение.** Расчет будем производить попикетно отдельно для насыпи и выемки. В месте перехода насыпи в выемку определяем положение нулевой точки.

Расстояние от нулевой точки до ближайших точек продольного профиля с известными рабочими отметками насыпи и выемки определяются из подобия треугольников по формулам:

$$x = l \frac{h}{H+h} = 70 \frac{1}{3+1} = 17,50 \text{ м};$$

$$y = l \frac{H}{H+h} = 70 \frac{3}{3+1} = 52,50 \text{ м.}$$

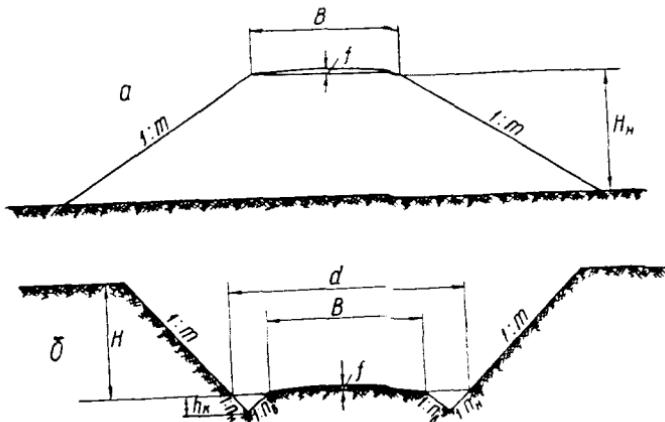


Рис. 3—15. Форма земляного полотна автомобильной дороги:  
а — в насыпи; б — в выемке

Представленный на рис. 14 профиль удобно разбить на четыре участка I — IV и расчет объема производить для каждого участка отдельно.

**Участок IV. Насыпь.** Средняя рабочая отметка на этом участке будет

$$H_{cp}^{IV} = \frac{H_4 + H_3}{2} = \frac{0,0 + 3,0}{2} = 1,50 \text{ м.}$$

Разность отметок  $H_3 - H_4 = 3 \text{ м}$ , а длина участка IV больше 50 м, и поэтому необходимо вводить поправку (15).

Поперечное сечение насыпи (рис. 3—15, а) с поправкой определяется по формуле

$$F_n^{IV} = a + BH_{cp} + mH_{cp}^2 + \frac{m(H_3 - H_4)^2}{12} \text{ м}^2,$$

где  $a$  — площадь поперечного сечения водосливной призмы параболической формы, которая равна

$$a = 2/3fB = \frac{2}{3} 0,2 \cdot 8,0 = 1,07 \text{ м}^2.$$

Подставляя численное значение входящих в формулу величин, будем иметь

$$F_{\text{н}}^{\text{IV}} = 1,07 + 8,0 \cdot 1,5 + 1,5 \cdot 1,5^2 + \frac{1,5(3 - 0)^2}{12} = 17,57 \text{ м}^2.$$

Объем насыпи на участке IV будет

$$V_{\text{н}}^{\text{IV}} = F_{\text{н}}^{\text{IV}} \cdot L_{\text{н}}^{\text{IV}} = 17,57 \cdot 60 = 1054,20 \text{ м}^3.$$

**Участок III.** Насыпь. Средняя рабочая отметка на этом участке

$$H_{\text{ср}}''' = \frac{H_3 + H_2}{2} = \frac{3,0 + 0,0}{2} = 1,50 \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения на этом участке совпадает с соответствующей площадью на участке IV, т. е.

$$F_{\text{н}}''' = F_{\text{н}}^{\text{IV}} = 17,57 \text{ м}^2.$$

Объем насыпи на участке III

$$V_{\text{н}}''' = F_{\text{н}}''' L_{\text{н}}''' = 17,57 \cdot 52,50 = 920,5 \text{ м}^3.$$

**Участок II. Выемка.** Средняя рабочая отметка

$$H_{\text{ср}}'' = \frac{H_2 + H_1}{2} = \frac{0,0 + 1,0}{2} = 0,5 \text{ м.}$$

Поперечное сечение выемки (рис. 3—15, б) выражается формулой

$$F_{\text{в}}'' = a' + dH_{\text{ср}} + mH_{\text{ср}}^2 + \frac{m(H_n - H_{n-1})^2}{12}.$$

Значение  $a' = 2\omega_{\text{k}} - a$ . Площадь поперечного сечения кювета  $\omega_{\text{k}}$  по данным  $n_{\text{в}}$ ,  $n_{\text{и}}$ ,  $h_{\text{k}}$  равна

$$\omega_{\text{k}} = \frac{h_{\text{k}}^2}{2}(n_{\text{в}} + n_{\text{и}}) = \frac{0,8^2}{2}(1,5 + 1,25) = 0,88 \text{ м}^2.$$

После этого получим

$$a' = 2 \cdot 0,88 - 1,07 = 0,69 \text{ м}^2.$$

Ширина выемки на уровне бровок  $d = B + 2b$  вычисляется следующим образом (16):

$$d = B + 2h_{\text{k}}(n_{\text{в}} + n_{\text{и}}) = 8,0 + 2 \cdot 0,8(1,25 + 1,5) = 12,4 \text{ м.}$$

Численное значение площади поперечного сечения выемки будем вычислять без поправки  $\frac{m(H_n - H_{n-1})^2}{12}$ , так как разность отметок  $H_1 - H_2 = 1 \text{ м}$ , а длина участка меньше 50 м:

$$F_{\text{в}}'' = 0,69 + 12,4 \cdot 0,5 + 1,25 \cdot 0,5^2 = 7,20 \text{ м}^2.$$

Объем выемки на участке II

$$V_{\text{в}}'' = F_{\text{в}}'' L_{\text{в}}'' = 7,20 \cdot 17,50 = 126 \text{ м}^3.$$

**Участок I. Выемка.** Средняя рабочая отметка

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_1 + H_0}{2} = \frac{1,0 + 0,0}{2} = 0,5 \text{ м.}$$

Площадь поперечного сечения выемки

$$F'_B = F''_B = 7,20 \text{ м}^2.$$

Объем выемки на участке I

$$V'_B = F'_B L'_B = 7,20 \cdot 70 = 540 \text{ м}^3.$$

Полученные объемы выемки и насыпи суммируем и получаем профильный объем земляных работ, т. е.

$$V_{\text{проф}} = \Sigma V_h + \Sigma V_B = 1054,2 + 920,5 + 126 + 540 = 2640,7 \text{ м}^3.$$

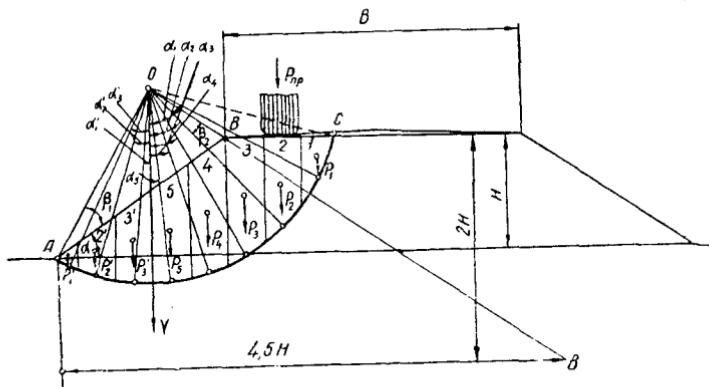


Рис. 3—16. Расчетная схема для определения коэффициентов устойчивости насыпи

Производственный объем земляных работ можно рассчитать по формуле

$$V_{\text{раб}} = V_{\text{проф}} - V_{\text{в.н.}}$$

где  $V_{\text{в.н.}}$  — объем грунта, перемещенного из выемки в насыпь.

**Пример 16.** Земляное полотно шириной  $B = 8 \text{ м}$  и высотой  $H = 3 \text{ м}$  отсыпано из супесчаного грунта, угол внутреннего трения которого  $\phi = 0,42 \text{ rad}$ , сцепление  $c = 9,81 \text{ кН/м}^2$  и объемная масса  $\delta = 1,95 \text{ Mg/m}^3$ . Коэффициент откоса насыпи  $m = 1,5$ . Внешняя нагрузка — прицеп-роспуск 2-Р-15 весом 180 кН. Рассчитать графоаналитическим методом коэффициент устойчивости этого полотна.

**Решение.** Находим положение центра дуги скольжения, предполагая, что он лежит на пересечении прямых, проведенных под углом  $\beta_1 = 0,45 \text{ rad}$  и  $\beta_2 = 0,61 \text{ rad}$  по отношению к концам линий откосов [7] (рис. 3—16). Радиусом  $OA$  проводим возможную дугу скольжения. Отсеченный массив разбиваем через характерные точки вертикальными плоскостями на элементарные части. Как видно из рис. 16, силы веса, находящиеся справа от оси  $OY$ , стремятся сдвинуть массив вниз. Силы веса массива,

находящегося слева от  $OY$ , а также силы сцепления и трения препятствуют этому.

Вначале определим момент сдвигающих сил без учета внешней нагрузки по формуле

$$M_{cd} = (P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 + P_3 \sin \alpha_3 + P_4 \sin \alpha_4 + P_5 \sin \alpha_5 - P'_1 \sin \alpha'_1 - P'_2 \sin \alpha'_2 - P'_3 \sin \alpha'_3) R.$$

Численное значение  $P_n \alpha_n$  и  $\sin \alpha_n$ , вычисленное по данным рис. 16, сведем в табл. 3—7.

Таблица 3—7

Элементарная часть массива	Значение $P$ , кн	Угол $\alpha$ , рад	$\sin \alpha$	$P \sin \alpha$	$\cos \alpha$	$P \cos \alpha$
1	17,2	1,06	0,8746	15,0	0,4848	8,3
2	44,1	0,74	0,6743	29,8	0,7385	32,5
3	57,4	0,51	0,4882	27,8	0,8727	50,1
4	59,3	0,30	0,2955	17,5	0,9553	56,6
5	49,6	0,10	0,0988	5,0	0,9950	49,5
1	36,4	0,10	0,0998	3,6	0,9950	36,3
2	22,0	0,30	0,2955	6,5	0,9553	21,0
3	3,8	0,45	0,4350	1,6	0,9004	3,4

Радиус кривой скольжения с учетом масштаба поперечного профиля измеряем по чертежу (рис. 16).

В рассматриваемом примере  $R = 5,1$  м. Принимая данные из таблицы и значение радиуса, определим сдвигающий момент  $M_{cd} = 5,1(15,0 + 29,8 + 27,8 + 17,5 + 5,0 - 3,6 - 6,5 - 1,6) = 374$  кнм.

Затем перейдем к вычислению удерживающего момента от сил трения и сцепления. Известно, что величина его может быть определена по формуле

$$M_{ud} = \left( f \sum_i^n P \cos \alpha + cL \right) R,$$

где  $f = \operatorname{tg} \varphi$  — коэффициент трения при угле  $\varphi = 0,42$ , равный 0,4466;

$L$  — длина всей линии скольжения при центральном угле  $\alpha = 1,83$  рад, равная  $L = Rd = 5,1 \cdot 1,83 = 9,3$  м.

Подставляя численное значение входящих в формулу величин, получим

$$M_{ud} = 5,1 [0,4466(8,3 + 32,5 + 50,1 + 56,6 + 49,5 + 36,3 + 21,0 + 3,4) + 9,81 \cdot 9,3] = 1050 \text{ кнм.}$$

Отношение  $M_{уд}$  к  $M_{сд}$  даст коэффициент устойчивости насыпи от собственного веса:

$$K_1 = \frac{M_{уд}}{M_{сд}} = \frac{1050}{374} = 3,1.$$

Коэффициент устойчивости  $K_1 = 3,1$  соответствует лишь только одной кривой скольжения, принятой на чертеже.

Перемещая центр кривой по прямой, проходящей через точки  $O$  и  $B$ , можно построить ряд кривых скольжения и вычислить аналогичным способом коэффициенты устойчивости. Минимальный из них следует принимать за расчетный.

В настоящем примере, стремясь сократить объем вычислений, других значений коэффициентов устойчивости насыпи определять не будем.

После этого определим коэффициент устойчивости насыпи с учетом внешней нагрузки от прицепа-роспуска 2-Р-15.

Из условия примера известно, что вес роспуска 180 кн. Следовательно, за расчетную необходимо принять нагрузку, приходящуюся на полуось, т. е.  $P_{пр} = 45$  кн, и приложить ее ко второй элементарной части массива (у кромки покрытия).

Нетрудно убедиться, что внешняя нагрузка, будучи перенесенной на плоскость скольжения, разложится на сдвигающие и нормальные силы. Сдвигающие силы образуют дополнительный сдвигающий момент, а нормальные вызовут трение и создадут удерживающий момент. Таким образом,

$$M'_{сд} = RP_{пр} \sin \alpha_2 = 5,1 \cdot 45 \cdot 0,6743 = 154 \text{ кнм};$$

$$M'_{уд} = RfP_{пр} \cos \alpha_2 = 5,1 \cdot 0,4466 \cdot 45 \cdot 0,7385 = 76 \text{ кнм}.$$

Коэффициент устойчивости насыпи в этом случае будет равен

$$K_2 = \frac{M_{уд} + M'_{уд}}{M_{сд} + M'_{сд}} = \frac{1050 + 76}{374 + 154} = 2,1.$$

Таким образом, расчет показывает, что насыпь заданной формы и размеров, отсыпанная из супесчаных грунтов, имеет вполне достаточный запас устойчивости. Очевидно, при этих условиях целесообразно принимать меньшее значение коэффициента откоса.

**Пример 17.** Автомобильная дорога, расположенная во II дорожно-климатической зоне, проходит по территории, грунты которой относятся к пылеватым суглинкам. Гравийное покрытие имеет толщину  $h_p = 0,2$  м. Продолжительность зимы  $T_3 = 120$  дней, общая глубина промерзания  $H_{пр} = 0,6$  м, глубина залегания грунтовых вод  $h = 0,5$  м. Определить высоту земляного полотна, при котором не будет пучинообразования.

**Решение. 1.** Вычисляем критическую глубину промерзания

$$h_{kp} = \frac{P_{kp} - P_0 - h_n g (\delta_n - \delta_{rp})}{g \delta_{rp}} = \\ = \frac{30\,000 - 15\,000 - 0,2 \cdot 9,81(2000 - 1600)}{9,81 \cdot 1600} = 0,90 \text{ м},$$

где  $P_{kp}$  — критическое давление в грунте, прекращающее дальнейшее пучение. По Бескову, для пылеватых грунтов  $P_{kp} = 30 \text{ кН/м}^2$ ;

$P_0$  — внутреннее сцепление грунта; для принятых в примере грунтов  $P_0 = 10 - 20 \text{ кН/м}^2$ ;

$h_n$  — толщина покрытия, м;

$\delta_n, \delta_{rp}$  — объемная масса покрытия и грунта,  $\text{кг/м}^3$ ;

$g$  — ускорение ( $9,81$ ),  $\text{м/сек}^2$ .

**2.** Определяем постоянную величину  $\alpha$ , характеризующую климатические и грунтовые условия:

$$\alpha = \frac{H_{np}^2}{1,3T_3} = \frac{0,6^2}{1,3 \cdot 120 \cdot 86\,400} = 2,88 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2/\text{сек}.$$

**3.** Возвышение бровки земляного полотна над горизонтом подземной воды будет равно

$$H = h_{kp} \left( 1 + \frac{kS}{q\alpha} \right) = 0,90 \left( 1 + \frac{8,7 \cdot 10^{-10} \cdot 1}{0,17 \cdot 2,88 \cdot 10^{-8}} \right) = 1,06 \text{ м},$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации,  $\text{м/сек}$ ;

$S$  — условная всасывающая сила, равная  $0,87 - 1,00 \text{ м}$  [26];

$q$  — допускаемый удельный приток воды. По данным

Н. А. Пузакова, для пылеватых грунтов  $q = 0,14 - 0,20$ .

**4.** Возвышение бровки земляного полотна над местностью (необходимая минимальная рабочая отметка) определяется из выражения

$$H_{з.п} = H - h = 1,06 - 0,5 = 0,56 \text{ м}.$$

Следовательно, для условий, заданных в примере, высота насыпи должна быть не менее  $0,56 \text{ м}$ .

### 3—6. ЗАДАЧИ

**97.** Определить величину уклона местности в промилле, процентах и радианах, если известно, что превышение точки  $A$  над точкой  $B$ , удаленных одна от другой на  $250 \text{ м}$ , составляет  $6 \text{ м}$ .

**98.** Построить в черных отметках участок продольного профиля автомобильной лесовозной дороги, используя следующие данные вертикальной съемки:

Пикеты, плюсы	Отметки точек, м	Пикеты, плюсы	Отметки точек, м	Пикеты, плюсы	Отметки точек, м
0	53,15	6	57,16	+60	46,80
+70	52,15	+40	57,60	10	50,40
1	52,52	7	57,04	11	55,39
+41	52,52	8	55,03	+80	55,80
2	51,67	+20	54,20	12	56,60
3	50,21	+60	53,60	+20	55,90
4	52,10	9	52,70	13	54,31
+60	53,26	+20	50,35	14	53,06
5	54,29	+40	49,20	15	50,86

99. На участке трассы, представленной на рис. 3—17, пропизвести разбивку пикетажа, вычислить черные отметки и по ним составить продольный профиль дороги.

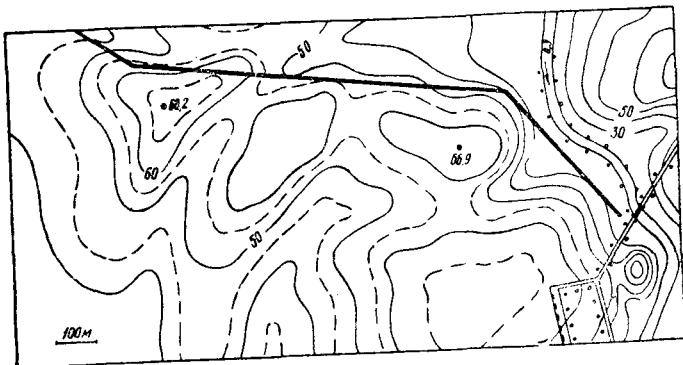


Рис. 3—17. План местности в горизонталях и участок трассы автомобильной лесовозной дороги

100. В равнинной местности на лесовозной дороге I категории два элемента продольного профиля с уклонами  $i_1 = 20\%$  и  $i_2 = 22\%$ , пересекаясь, образуют вогнутый перелом. Определить угол поворота проектной линии и необходимый в этом случае радиус вогнутой вертикальной кривой.

101. Груженый автомобиль ЯАЗ-214, общий вес которого  $Q_{бр} = 189,3$  кн, движется со скоростью  $v = 8$  м/сек по вогнутой вертикальной кривой радиусом  $R = 100$  м.

Определить величину ускорения и силу, действующую на дорожное покрытие, при движении автомобиля по вертикальной кривой.

102. Автомобиль Урал-355 М с номинальной нагрузкой дви-

жется по вертикальной вогнутой кривой радиусом  $R = 200 \text{ м}$  со скоростью  $v = 12 \text{ м/сек}$ .

Определить коэффициенты динамического воздействия автомобиля на дорогу. Насколько увеличится коэффициент динаминости, если радиус кривой уменьшится в два раза?

103. Какой радиус должна иметь вогнутая вертикальная кривая, для того чтобы центростремительное ускорение при скорости движения автомобиля  $v = 20 \text{ м/сек}$  не превышало  $a = 0,5 \text{ м/сек}^2$ ?

104. Рассчитать основные элементы выпуклой вертикальной кривой, вписанной радиусом  $R = 500 \text{ м}$  во внутренний угол, образованный двумя смежными элементами продольного профиля с уклонами  $i_1 = 40\%_{00}$  и  $i_2 = 30\%_{00}$ .

105. Определить, на каком расстоянии водитель сможет видеть поверхность проезжей части дороги, если радиус вертикальной выпуклой кривой  $R = 1000 \text{ м}$ .

106. Два смежных элемента продольного профиля ( $i_1 = 60\%_{00}$ ,  $i_2 = 40\%_{00}$ ) образуют выпуклый перелом. Рассчитать вертикальную кривую, при которой будет обеспечена видимость проезжей части на расстоянии  $S_v = 60 \text{ м}$ .

107. По данным задачи 106 определить ординаты вертикальной кривой, необходимые для разбивки ее на местности, и начертить продольный профиль кривой.

108. Два автомобиля МАЗ-501 движутся друг другу на встречу по вертикальной выпуклой кривой радиусом  $R = 600 \text{ м}$ .

Определить максимальное расстояние, при котором будет видна встречная машина.

109. На лесовозной дороге для автомобилей ЗИЛ-151 расчетная скорость движения  $v = 12 \text{ м/сек}$ , а расстояние видимости встречного автомобиля  $S_v = 80 \text{ м}$ . Определить условия применимости и необходимые радиусы выпуклых и вогнутых вертикальных кривых.

110. Определить допустимые скорости движения на вертикальных вогнутых кривых в дневное и ночное время, если известно, что радиусы их  $R = 200 \text{ м}$ .

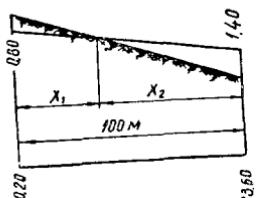
111. Для условий, показанных на рис. 3—18, определить расстояния  $X_1$  и  $X_2$  — местоположение точки перехода из насыпи в выемку.

112. На участке продольного профиля (рис. 3—19) произвести разбивку вертикальной кривой, приняв радиус  $R = 500 \text{ м}$ , вычислить рабочие отметки до и после разбивки кривой.

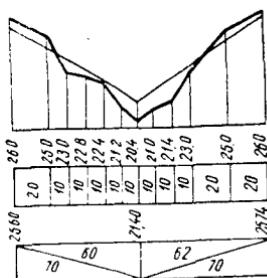
113. Продольный уклон дороги в кривой  $i = 40\%_{00}$ , уклон выража  $i_v = 60\%_{00}$ . Определить геометрический уклон, преодолеваемый автомобилем.

114. На кривой, радиус которой  $R = 50 \text{ м}$ , а продольный уклон  $i = 30\%_{00}$  при коэффициенте поперечного сечения  $\varphi_2 = 0,2$ , допустимая скорость движения  $v = 10 \text{ м/сек}$ . Определить величину наибольшего уклона проезжей части.

115. Запроектировать продольный профиль участка автомобильной лесовозной дороги на трассе, показанной на рис. 3—20. В качестве исходных для проектирования принять: руководящий уклон  $i_p = 40\%$ ; уравновешенный  $i_{up} = 50\%$ ; шаг проектирования  $S = 200$  м; расчетная скорость движения автомобилей  $v = 14$  м/сек; расстояние видимости  $S_v = 60$  м; преобладающие грунты вдоль трассы — пески крупнозернистые.

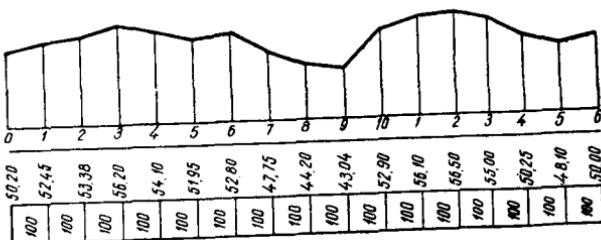


Р и с. 3—18. Определение точки перехода из насыпи в выемку



Р и с. 3—19. Участок продольного профиля

Грузовое направление



Р и с. 3—20. Продольный профиль дороги

116. Определить минимальное расстояние между смежными переломами продольного профиля, алгебраическая разность уклонов у которых равна 0,06, если известно, что предельная скорость движения автомобиля ЗИЛ-164А равна 15 м/сек, а расчетное расстояние видимости  $S_v = 70$  м.

117. Определить ширину однопутной дороги под автомобилем МАЗ-200, если обочины равны 1,5 м, а запасное расстояние у кромки проезжей части  $m = 0,3$  м.

118. Определить ширину двухпутной дороги, на которой предусматривается эксплуатация автомобилей ЗИЛ-164. Параметры автомобиля принять по технической характеристике, а размеры обочин и запасного расстояния — конструктивно.

119. Для земляного полотна, ширина которого  $B = 8 \text{ м}$  и поперечный уклон водосливной призмы  $i_{\text{n}} = 40\%$ , из условия поперечного равновесия грунтовых масс определить глубину треугольных кюветов, имеющих коэффициенты откоса: внутренний  $m_1 = 3$  и наружный  $m_2 = 1,5$ .

120. Из условия поперечного равновесия грунтовых масс определить глубину трапецидальных кюветов, если известно, что ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$ , высота  $H = 0,4 \text{ м}$ , треугольная водосливная призма имеет стрелу выпуклости  $f = 0,2 \text{ м}$ , а кюветы — ширину по дну  $b_k = 0,4 \text{ м}$  и крутизну откосов  $1:1,5$ .

121. Площадь поперечного сечения земляного полотна  $F = 5 \text{ м}^2$ ; боковые канавы трапецидальные: коэффициенты откосов  $m_2 = 1,5$  (внешний) и  $m_1 = 3$  (внутренний), глубина  $h_k = 0,9 \text{ м}$ .

Определить ширину дна канав, при которой вынутого грунта будет достаточно для возведения насыпи.

122. Для возведения насыпи необходимо заложить односторонний резерв с шириной по дну  $b_2 = 20 \text{ м}$ , средней глубиной  $h_0 = 1,2 \text{ м}$  и с односкатным уклоном дна  $i = 20\%$ . Вычислить, какими будут максимальная и минимальная глубины резерва.

123. Определить размеры двухсторонних резервов глубиной до  $1 \text{ м}$ , чтобы площадь поперечного сечения каждого из них равнялась  $20 \text{ м}^2$ .

124. Определить ширину одностороннего резерва по верху со средней глубиной  $h_0 = 1,0 \text{ м}$ , необходимого для возведения насыпи, высота которой  $H = 2,0 \text{ м}$ , ширина  $B = 6,5 \text{ м}$ , коэффициент откоса  $m = 1,5 \text{ м}$  и поперечный уклон водосливной призмы  $6\%$ .

125. Насыпь высотой  $H = 2,0 \text{ м}$ , шириной  $B = 8 \text{ м}$  и с коэффициентами откоса  $m = 1,5$  проходит по косогору с крутизной  $1:6$ . Определить расстояние от насыпи до ее подошв.

126. Дорога проходит по косогору  $1:4$  со средней рабочей отметкой  $2 \text{ м}$ . Ширина земляного полотна  $B = 9 \text{ м}$ , кюветы треугольные глубиной  $h_k = 0,6 \text{ м}$ , откосы полуторные, грунты супесчаные.

Рассчитать выемку и определить размеры кавальера, который будет отсыпан при разработке выемки. Начертить поперечный профиль дороги.

127. Рассчитать и начертить поперечные профили земляного полотна автомобильной лесовозной дороги в нулевой точке, в насыпи, в выемке, если известно, что поперечный уклон местности  $i = 10\%$ , боковые водоотводные канавы трапецидальные:  $m_h = 1,5$ ;  $m_b = 2,0$ ;  $h_k = 0,8 \text{ м}$ ;  $b_k = 0,4 \text{ м}$ . Ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$ , уклон водосливной призмы  $i_{\text{n}} = 4\%$ , высота насыпи  $H = 1,2 \text{ м}$ , глубина выемки  $H = 1,5 \text{ м}$ .

128. Земляное полотно автомобильной дороги имеет переменную по высоте крутизну откосов  $1:2$  и  $1:1,5$ . Соотноше-

ние высот с разной крутизной 2:3. Общая высота насыпи  $H = 7,5$  м, ширина по верху  $B = 8$  м. Чему равна ширина земляного полотна по низу на горизонтальном участке местности и на косогоре 1:10?

129. Начертить односкатные (на кривой) поперечные профили ( $i_n = 0,06$ ) автомобильной лесовозной дороги с шириной земляного полотна  $B = 8$  м и коэффициентами откоса  $m = 1,5$ , для характерных точек продольного профиля: нулевого места, насыпи, выемки.

130. Ширина земляного полотна  $B = 8$  м, глубина выемки  $H = 2$  м, заложение откосов выемки и канав  $1:m = 1:1,5$ , глубина канав  $h_k = 0,8$  м, ширина канавы по дну  $b_k = 0,4$  м, местность в поперечном направлении горизонтальная. Определить расстояние от оси дороги до бровок выемки.

131. Ширина земляного полотна  $B = 6,5$  м, выемка на косогоре, крутизна которого 1:8, имеет глубину  $H = 1,6$  м, заложение откосов выемки и внешних откосов треугольных кюветов 1:1,25, внутренние откосы кюветов 1:1,5, глубина кюветов  $h_k = 0,6$  м. Определить положение бровок выемки по отношению к оси дороги.

132. Рассчитать объем насыпи шириной  $B = 8$  м и длиной  $L_n = 50$  м, если известно, что средняя рабочая отметка равна  $H_{cp} = 2$  м, коэффициент откоса  $m = 1,5$  и уклон водосливной призмы  $i_n = 30\%$ .

133. Средняя глубина выемки  $H_{cp} = 1,2$  м, коэффициенты откоса  $m = 1,5$ , расстояние между бровками  $B = 6,5$  м, кюветы треугольные глубиной  $h_k = 0,5$  м, возвышение оси дороги над бровками  $f = 13$  см. Определить объем выемки длиной  $L_v = 30$  м. Насколько изменится объем выемки, если крутизну откосов увеличить на 20%?

134. Определить объем насыпи, заключенной между двумя рабочими отметками  $H_1 = 0,8$  и  $H_2 = 3,2$  м. Расстояние между отметками  $L_n = 100$  м. Ширина земляного полотна  $B = 4,5$  м, коэффициенты откосов  $m = 1,5$ , высота водосливной призмы по оси дороги  $f = 9$  см.

135. Определить объем земляного полотна в насыпи на участке длиной  $L_n = 63$  м при следующих исходных данных: ширина насыпи  $B = 8$  м, коэффициент откоса  $m = 1,5$ , уклон водосливной призмы  $i_n = 60\%$ , рабочие отметки в начале участка  $H_1 = 0,8$  м и в конце  $H_2 = 2,1$  м.

136. На какую величину изменится объем насыпи на косогоре 1:8 по сравнению с ровной местностью, если ширина насыпи  $B = 8$  м, крутизна откосов 1:1,5, поперечный уклон водосливной призмы  $i_n = 0,04$ , а рабочие отметки по концам пикета  $H_1 = 1,2$  и  $H_2 = 0,8$  м?

137. Выемка расположена на косогоре 1:6. Рабочие отметки  $H_1 = 4,2$  и  $H_2 = 0,8$  м находятся друг от друга на расстоянии

$L_{\text{в}} = 50 \text{ м}$ . Ширина земляного полотна  $B = 8,0 \text{ м}$ , коэффициенты откоса выемки и внешних откосов треугольных кюветов  $m = 1,25$ , крутизна откосов кювета  $1:1,5$ , глубина кювета  $h_{\text{k}} = 0,6 \text{ м}$ , водосливная призма параболической формы со стрелой выпуклости  $f = 0,22 \text{ м}$ . Вычислить объем выемки.

138. Используя циркульную номограмму [75], определить объем насыпи по следующим исходным данным: ширина насыпи  $B = 7,5 \text{ м}$ ; коэффициенты откоса  $m = 1,5$ ; рабочие отметки  $H_1 = 1,05 \text{ м}$ ;  $H_2 = 4,55 \text{ м}$ ; длина насыпи  $L_{\text{n}} = 135 \text{ м}$ .

139. Вычислить объемы насыпей и выемок на участке продольного профиля (рис. 3—21), приняв ширину земляного полотна  $B = 9 \text{ м}$ , коэффициенты откосов  $m = 1,5$ , кюветы трапецидальные (глубина  $h_{\text{k}} = 0,6 \text{ м}$ , ширина по дну  $b_{\text{k}} = 0,4 \text{ м}$ ), водосливную призму треугольную с поперечным уклоном  $i_{\text{п}} = 0,05$  и поперечный уклон местности равным нулю.

Построить график и кривую объемов земляного полотна.

140. На закруглении ( $\alpha = 0,8 \text{ рад}$ ;  $R = 100 \text{ м}$ ) земляное полотно уширено на  $1,0 \text{ м}$ . Средняя высота насыпи  $H_{\text{ср}} = 1,6 \text{ м}$ . Длина отвода уширения  $L_{\text{от.уш}} = 15 \text{ м}$ . На сколько увеличился объем насыпи после уширения ее?

141. Ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$ , коэффициент откоса  $m = 1,5$ , стрела выпуклости треугольной водосливной призмы  $f = 0,20 \text{ м}$ . Максимальная высота насыпи  $H_{\text{max}} = 2,5 \text{ м}$ . Форма поверхности земли в черных отметках соответствует параболе вида  $y = 10^{-3}x^2$ .

Определить объем насыпи путем интегрирования в пределах от  $-50$  до  $+50$ .

142. Продольный разрез возвышенности по контуру представляет кривую второго порядка  $y = \frac{2x^2}{10^4}$ . Максимальная рабочая отметка выемки на этой возвышенности  $H_{\text{max}} = 2,0 \text{ м}$ . Ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$ , ширина выемки на уровне бровки  $d = 12 \text{ м}$ , площадь поперечного сечения водосливной призмы равна удвоенной площади сечения кювета, коэффициенты откоса  $m = 1,5$ . Вычислить полный объем выемки.

143. Для насыпей и выемок построить графики зависимости площади поперечного сечения от ширины земляного полотна, высоты насыпи (глубины, выемки) коэффициентов откоса, сечения кювета, т. е.

$$F_{\text{n}} = f(B, H_{\text{n}}, m); F_{\text{в}} = f(B, H_{\text{в}}, m, \omega).$$

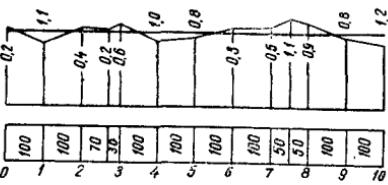


Рис. 3—21. Участок продольного профиля

144. Чему равен коэффициент устойчивости для насыпи шириной  $B = 8 \text{ м}$ , высотой  $H = 3 \text{ м}$  и с крутизной откосов  $1:1,5$ , отсыпанной из супесчаного грунта, если активной нагрузкой является груженый автомобильный поезд МАЗ-501 + 2-Р-15?

145. По условиям капиллярного поднятия воды определить для второй климатической зоны высоту насыпи, отсыпанной из мелкого песка, если известно, что уровень грунтовых вод имеет отметку  $0,5 \text{ м}$  ниже поверхности земли.

146. Определить угол, при котором будет обеспечена устойчивая работа откоса песчаной насыпи. Коэффициент внутреннего трения песка  $\operatorname{tg} \varphi = 0,7$ .

147. Пренебрегая коэффициентом внутреннего трения для связанных грунтов, из которых отсыпана насыпь высотой  $H = 3,0 \text{ м}$ , определить угол наклона устойчивого откоса. Сцепление грунта  $c = 59,0 \text{ кН/м}^2$ , объемная масса его  $\gamma = 2,7 \text{ Мг/м}^3$ .

148. При каком значении угла наклона откоса в выемке ( $H = 4 \text{ м}$ ), расположенной в супесчаных грунтах (коэффициент трения  $\operatorname{tg} \varphi = 0,4$ , объемная масса  $\gamma = 1,9 \text{ Мг/м}^3$ , сцепление  $C = 19,6 \text{ кН/м}^2$ ), будет обеспечен коэффициент устойчивости  $K = 1,5$ ?

149. Построить кривую естественного откоса насыпи высотой  $H = 5 \text{ м}$ , если используемый для ее отсыпки грунт имеет следующие расчетные характеристики: угол внутреннего трения  $\varphi = 0,4 \text{ rad}$ , сцепление  $c = 25 \text{ кН/м}^2$ , объемная масса  $\gamma = 2,0 \text{ Мг/м}^3$ .

150. Определить, при каком численном значении угла внутреннего трения угол естественного откоса песчаной насыпи будет равен  $0,5 \text{ rad}$ .

151. Графоаналитическим методом рассчитать устойчивость насыпи, используя следующие исходные данные: ширина насыпи  $B = 8 \text{ м}$ , высота  $H = 4 \text{ м}$ , коэффициент откоса  $m = 1,0$ , угол внутреннего трения грунта  $\varphi = 0,3 \text{ rad}$ , сцепление  $c = 15 \text{ кН/м}^2$ , объемная масса  $\gamma = 1,9 \text{ Мг/м}^3$ , внешняя нагрузка— задняя полуось груженого автомобиля МАЗ-501—проложена на расстоянии  $1,5 \text{ м}$  от бровки земляного полотна.

152. Для насыпи из суглинистого грунта ( $c = 25 \text{ кН/м}^2$ ,  $\varphi = 0,45 \text{ rad}$ ,  $\gamma = 1,95 \text{ Мг/м}^3$ ) высотой  $H = 2,5 \text{ м}$  и с крутизной откосов  $1:1,25$ , воспользовавшись методом профессора М. Н. Гольдштейна [7], определить коэффициент устойчивости при условии, что поверхность скольжения проходит через ее подошву.

153. По данным задачи 152 определить высоту насыпи, при которой устойчивость будет характеризоваться коэффициентом  $K = 3,5$ .

154. Построить кривую естественного откоса и по ней за-проектировать откос переменной крутизны для насыпи из суг-

линистого грунта ( $c = 18 \text{ кН}/\text{м}^2$ ,  $\varphi = 0,35 \text{ рад}$ ,  $\gamma = 1,85 \text{ Мг}/\text{м}^3$ ) высотой  $H = 6 \text{ м}$  и шириной  $B = 10 \text{ м}$ .

155. Насыпь из суглинистого грунта высотой  $H = 3,0 \text{ м}$  и шириной  $B = 9 \text{ м}$  с коэффициентом откоса  $m = 1,5$  в период весеннего половодья затапливается водой до уровня  $1,5 \text{ м}$  ниже бровки полотна. Построить кривую депрессии при спаде воды, используя метод К. С. Ордуянца.

156. Графоаналитическим способом рассчитать коэффициент устойчивости для насыпи, подтопленной водой, используя следующие данные: высота насыпи  $H = 2,4 \text{ м}$ , ширина  $B = 6,5 \text{ м}$ , коэффициент откоса  $m = 1,50$ , глубина затопления насыпи  $h_3 = 2/3 H$ , грунт супесчаный, гидравлический градиент  $I = 0,05$ .

157. Определить коэффициент устойчивости насыпи ( $B = 8 \text{ м}$ ,  $H = 4 \text{ м}$ ,  $m = 1,5$ ) на косогоре с крутизной  $1:4$ , если коэффициент трения грунта насыпи по грунту косогора  $\operatorname{tg} \varphi = 0,3$ , сцепление  $c = 5 \text{ кН}/\text{м}^2$ , объемная масса насыпи  $\delta = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

158. При какой крутизне косогора супесчаная насыпь высотой  $H = 3 \text{ м}$ , шириной  $B = 6,5 \text{ м}$  и с коэффициентами откоса  $m = 1,5$  будет иметь коэффициент устойчивости, равный  $1,4$ , если сила сцепления грунтов насыпи и косогора  $c = 2,45 \text{ кН}/\text{м}^2$ , а коэффициент трения  $\operatorname{tg} \varphi = 0,43$ ?

159. Определить глубину погружения насыпи в слабый грунт, имея следующие расчетные характеристики его: угол внутреннего трения  $\varphi = 0,31 \text{ рад}$ , коэффициент сцепления  $c = 9,8 \text{ кН}/\text{м}^2$ , объемная масса грунта  $\gamma = 2200 \text{ кг}/\text{м}^3$  и критическое давление на грунт  $P_k = 10 \text{ кН}/\text{м}^2$ .

160. На косогоре, крутизна которого  $1:5$ , коэффициент поперечной устойчивости насыпи при коэффициенте трения  $\operatorname{tg} \varphi = 0,42$  равен  $K = 3,0$ . Вычислить, какой будет при прочих равных условиях коэффициент устойчивости на косогоре крутизной  $1:4$ .

161. Определить коэффициент поперечной устойчивости насыпи, расположенной на косогоре  $1:8$ , если известно, что ее ширина  $B = 4,5 \text{ м}$ , высота  $H = 3 \text{ м}$ , крутизна откосов  $1:1,25$  и объемная масса  $\gamma = 2 \text{ Мг}/\text{м}^3$ . Кроме того, известно, что коэффициент трения грунта насыпи по грунту косогора  $\operatorname{tg} \varphi = 0,6$ , а сцепление равно нулю.

162. Для условий II дорожно-климатической зоны определить необходимую толщину фильтрующей прослойки из песка под гравийным покрытием толщиной  $h = 0,2 \text{ м}$ , для того чтобы суглинистый грунт земляного полотна не промерзал на глубину, превышающую  $1,6 \text{ м}$ .

163. Рассчитать толщину теплоизолирующего слоя для ветки автомобильной лесовозной дороги, не имеющей покрытия, которая расположена в районе с глубиной промерзания грунта

$H_{\text{пр}} = 1,0$  м. Грунт супесчаный, в качестве тепловой изоляции могут быть использованы опилки.

164. Для уменьшения лучинообразования на участке строящейся дороги на пылеватых грунтах предусматривается устройство теплоизоляции. Какую толщину должен иметь изоляционный слой из торфа, если глубина промерзания равна 0,8 м?

165. Графоаналитическим способом определить коэффициент устойчивости откосов выемки в суглинистых грунтах, если глубина ее  $H = 6$  м, коэффициенты откосов 1,25 и на расстоянии 3 м от бровки выемки приложена равномерно распределенная нагрузка  $q = 30 \text{ кН}/\text{м}^2$ .

166. Определить количество дерна, необходимое для укрепления 1 км насыпи высотой  $H = 3$  м и с коэффициентом откоса 1,5, если укрепление производить плашмя в клетку ( $1\text{м} \times 1\text{м}$ ); то же при сплошной одерновке.

---

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

### ДОРОЖНЫЕ ПОКРЫТИЯ

В лесной промышленности, для транспортного освоения лесосырьевых баз, на автомобильных дорогах применяются различные дорожные покрытия. Многообразие типов и конструкций покрытий является отражением чрезвычайно большого различия природных условий в разных районах страны, неодинакового характера работы отдельных лесозаготовительных предприятий и стремления проектировщиков и строителей привести

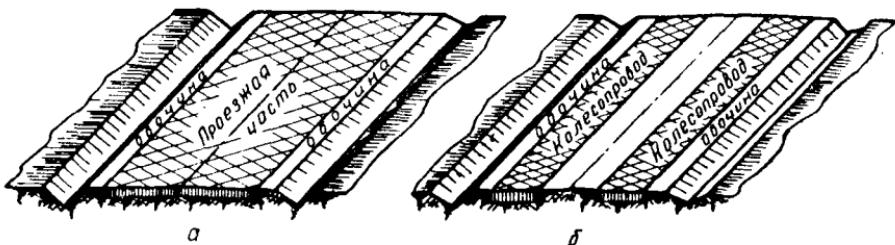


Рис. 4—1. Принципиальная схема покрытий:  
а — сплошное; б — колейное (полосное)

в соответствие прочность и долговечность покрытий с технико-эксплуатационными требованиями и местными условиями.

Покрытия лесовозных дорог можно разделить на сплошные и колейные (полосные).

К сплошным (рис. 4—1, а) относятся покрытия, которые устраиваются по всей ширине проезжей части. Они применяются на автомобильных лесовозных дорогах, имеющих неоднородный состав движения, на дорогах с низшими типами покрытий, а также в случаях, когда по технологическим или почвенно-грунтовым условиям применение их оказывается наиболее рациональным.

На дорогах, имеющих однотипный тяговый и прицепной состав, распространение получили колейные покрытия (рис. 4—1, б). Проезжая часть таких дорог улучшается только под колеса автомобилей—устраиваются колесопроводы.

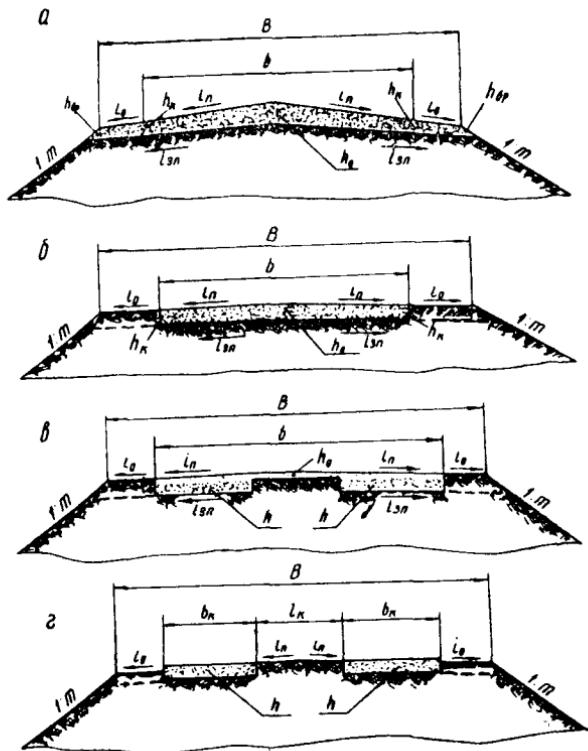


Рис. 4—2. Поперечные профили покрытий автомобильных лесовозных дорог:  
а — серповидный; б — корытный; в — полукорытный; г — полосный

Колейные покрытия по сравнению со сплошными требуют меньше дорожно-строительных материалов. К числу наиболее распространенных колейных покрытий на лесовозных дорогах относятся лежневые и железобетонные.

Поперечные профили покрытий автомобильных лесовозных дорог (рис. 4—2) в зависимости от материала покрытий и технологии их постройки могут быть: а) серповидные, б) корытные, в) полукорытные, г) полосные (колейные).

При серповидном профиле покрытие устраивается по всей ширине полотна от бровки до бровки, наибольшая толщина назначается по оси дороги, а на бровках  $h_{bp} = 3 - 5 \text{ см}$ .

Серповидный профиль наименее экономичный по расходу материала и поэтому проектируется при сравнительно невысокой его стоимости. По сравнению с другими применение этого типа покрытия дает возможность упростить технологию и механизацию строительных работ, а также облегчить содержание и ремонт покрытия путем профилирования и утюжки машинами на всю ширину полотна.

Корытный профиль, как более экономичный по расходованию материала, применяется на дорогах высоких классов, имеющих усовершенствованные покрытия. Устройство покрытия корытного профиля и эксплуатация его являются более трудоемкими, чем покрытия серповидного профиля, так как требуется устраивать корыто, применять разные машины при содержании проезжей части и обочины, содержать и ремонтировать кромку и т. д.

По расходу материала покрытие полукорытного профиля занимает промежуточное положение между серповидным и корытным покрытиями. Наиболее экономичными по расходу материалов являются покрытия полосного профиля. Однако строительство их из-за отсутствия необходимых средств механизации является достаточно сложным, и поэтому они применяются только при сборно-разборных конструкциях (железобетонные, деревянно-лежневые).

Применяемые на автомобильных лесовозных дорогах покрытия различаются также по виду материала.

#### 4—1. РАСЧЕТЫ ОПТИМАЛЬНЫХ ГРУНТОВЫХ И ГРАВИЙНЫХ СМЕСЕЙ

Грунтовые и гравийные смеси, которые при использовании в дорожных целях проявляют наиболее высокие физико-механические свойства, носят название *оптимальных*. Высокие физико-механические свойства оптимальных смесей обусловлены наиболее рациональным соотношением входящих в их состав зерен различной крупности.

Для большинства районов СССР, как показывают практика и исследования, оптимальные грунтовые смеси характеризуются составом (табл. 4—1).

Дорожные покрытия из гравийных смесей в одних и тех же эксплуатационных условиях по-разному ведут себя под воздействием вертикальных и горизонтальных усилий, если они построены из гравийных смесей различного состава. Покрытия из хорошей гравийной смеси дешевы и просты в строительстве, имеют относительно высокую прочность и устойчивость. Плохо же подобранные смеси, как правило, не удовлетворяют требованиям их работы в покрытиях.

В то же время одна и та же гравийная смесь будет вести себя различным образом в земляном полотне, в нижних и верхних слоях покрытия.

Таблица 4—1

Конструктивный элемент	Количество частиц (в %), проходящих через сите с отверстиями в мм					Свойства фракций, прошедших через сите с отверстиями 0,5 мм	
	5	2	1	0,5	0,074	предел текучести	предел пластичности
Верхний слой	90—100	60—80	—	35—55	10—30	не более 35	4—8
	—	80—100	60—80	40—70	15—35		
Нижний слой (основание)	90—100	55—80	—	25—55	10—27	не более 25	не более 6
	—	80—100	—	35—70	10—30		

Таблица 4—2

Назначение смесей	Количество частиц (в %), прошедших через сите с диаметром отверстий в мм						
	40	20	10	5	2,5	0,63	0,05
Верхние слои . . . .	100	60—80	45—65	30—55	20—45	15—35	7—20
»	100	80—95	65—90	50—75	35—65	20—45	8—25
»	100	100	90—100	70—85	45—75	25—55	8—25
Основания . . . . .	100	20—40	20—35	15—25	10—15	5—10	0—3
»	100	40—60	35—50	20—35	15—35	5—15	0—5
Подстилающие слои	100	60—80	35—75	25—60	15—50	10—30	0—3
»	90—100	60—90	30—70	20—55	15—40	0—3	

В связи с этим при проектировании или строительстве автомобильной дороги с гравийным покрытием необходимо проверять состав гравия, доводить его до оптимального.

Состав гравийных смесей, рекомендуемых как оптимальных [74] для дорожных покрытий и оснований, приведен в табл. 4—2.

Для получения оптимальной грунтовой смеси в практике дорожного строительства местные суглинистые и глинистые грунты смешиваются с привозным песчаным или, наоборот, местный песчаный грунт смешивается с привозным суглинистым или глинистым.

Количество грунта, которое необходимо привозить из карьера, определяется по двум признакам: по наличию мелкозернистых фракций (пылеватых и глинистых) и по числу пластичности.

Для глинистых грунтов пылеватые и глинистые частицы

не должны превышать 35%, а число пластичности — 8%. Для песчаных грунтов соответственно — не менее 15 и не менее 4%.

В первом случае процент добавок определяется из выражения

$$P = \frac{100(b_0 - 35)}{b_0 - b_1} \%, \quad (4-1)$$

а во втором он будет равен

$$P = \frac{100(b_0 - 15)}{b_0 - b_1}, \quad (4-2)$$

где  $b_0$  — количество пылеватых и глинистых частиц в местном грунте, %;

$b_1$  — количество пылеватых и глинистых частиц в привозном грунте, %.

Зная  $P$ , можно определить ожидаемое число пластичности смеси по следующей приближенной формуле и сопоставить его с допускаемой величиной:

$$S_0 = S \left( 1 - \frac{P_1}{100} \right) + \frac{S_1 P_1}{100}, \quad (4-3)$$

где  $P_1 = \frac{P \cdot 100 \cdot a_1}{a(100 - P) + a_1 P}; \quad (4-4)$

$S$  и  $S_1$  — числа пластичности грунта земляного полотна и карьера;

$a$ ,  $a_1$  — количество фракций мельче 0,5 мм в грунте земляного полотна и карьерного, %.

Потребное количество карьерного грунта для постройки 1 км покрытия из оптимальной грунтовой смеси равно

$$Q = b h P \beta \frac{\delta_1}{\delta_2} m^3, \quad (4-5)$$

где  $b$  — ширина проезжей части, м;

$h$  — толщина улучшения, мм;

$\beta$  — коэффициент уплотнения грунтов ( $1,15 \div 1,25$ );

$\frac{\delta_1}{\delta_2}$  — отношение объемных масс дорожного и карьерного грунтов. При добавке песка и гравия это отношение принимается  $0,90 \div 0,95$ , а при добавке суглинков —  $1,05 \div 1,10$ .

Если имеется несколько карьеров, которыми можно воспользоваться для получения оптимальных смесей, то необходимо произвести выбор карьера, отдав предпочтение тому, для которого стоимость получения 1  $m^3$  смеси будет минимальной. Кроме того, необходимо определить расстояние, на которое будет целесообразно перемещать грунт из данного карьера.

Расчет оптимальных грунтовых смесей может быть произведен и при помощи равностороннего треугольника, используя

его свойство: сумма перпендикуляров, опущенных из какой-либо точки, расположенной внутри треугольника, на три его стороны, равна высоте треугольника (рис. 4—3).

Расчет оптимальной смеси с помощью равностороннего треугольника осуществляется следующим образом: на треугольник наносится зона оптимальных смесей, а также дорожный и карьерный грунт в соответствии с их гранулометрическим составом. Пусть, например, дорожному грунту соответствует точка  $D$ , а карьерному —  $K$ . Точки, обозначающие карьерный и дорожный грунт, находятся вне многоугольника оптимальных смесей. Однако прямая, соединяющая эти точки, пересекает многоугольник, и это говорит о том, что путем смешения грунтов  $D$  и  $K$  может быть получена оптимальная смесь.

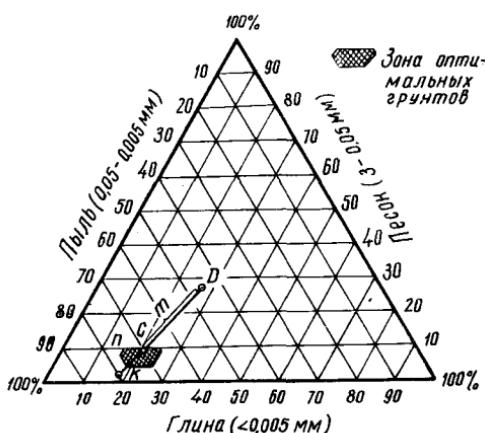


Рис. 4—3. Равносторонний треугольник для расчета оптимальных грунтовых смесей

Для определения добавок карьерного единящей  $D$  и  $K$ , в зоне оптимальных грунтов необходимо выбрать точку, например  $C$ , которая будет характеризовать конкретную оптимальную смесь. Точка  $C$  делит отрезок  $DK$  на две части  $m$  и  $n$ . Количество дорожного и карьерного грунта, необходимое для получения оптимальной смеси, обратно пропорционально расстоянию выбранной точки до смешиемых материалов. В процентах потребное количество карьерного материала определяется из выражения

$$P = \frac{m}{n+m} 100\%. \quad (4-6)$$

Если же линия, соединяющая точки  $D$  и  $K$ , не пересекает поле оптимальных смесей грунтов, то при смешивании взятых грунтов оптимальная смесь не получится. В данном случае нужно искать другой карьер или же находить добавочный третий грунт, используя который совместно с карьерным и дорожным, можно получить оптимальную грунтовую смесь. И в этом случае при помощи равностороннего треугольника могут быть произведены все необходимые расчеты.

Подбирая гравийный материал для дорожных покрытий, можем встретить следующие случаи.

1. В карьерном материале имеются в избытке недопустимо

крупные фракции, после отделения которых получится смесь необходимого состава.

2. Имеются два карьера с различными гравийными материалами, и путем смешения их можно получить оптимальную смесь.

3. В карьерном материале недостаточное количество мелких фракций—мелкозема, введением которых можно довести имеющуюся смесь до оптимальной.

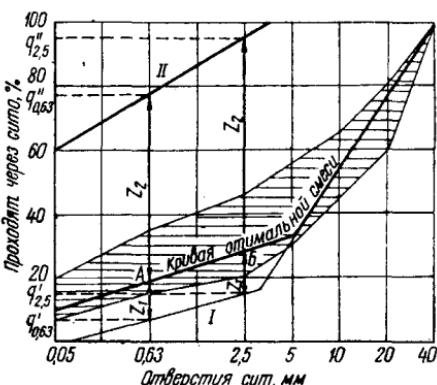
Для каждого из этих случаев решение может быть чисто арифметическим [51] путем сопоставления количества различных фракций, содержащихся в имеющемся материале и необходимых в рекомендуемых смесях.

Однако удобнее воспользоваться кривыми оптимальных (плотных) смесей [34] или графическим изображением рекомендуемых составов (рис. 4—4) и с помощью их решать задачи об улучшении гравийного материала.

Если на график (рис. 4—4) нанести интегральные кривые составов рассматриваемых материалов, то сразу станет очевидным, насколько эти материалы соответствуют установленным требованиям. Кривая располагается внутри контура—материал удовлетворяет требованиям без каких-либо добавок. Кривая mestами выходит за пределы контура—в материале имеется диспропорция отдельных фракций, и ее можно ликвидировать путем добавки новых компонентов или отгрохоткой некоторых имеющихся фракций. Так, если кривая выходит вниз в начале графика, то в материале недостаточно мелких фракций (предусматривается добавка мелкозема), в середине—недостаточно песчано-гравийных фракций, в конце—избыток крупных фракций (требуется отгрохотка).

Если же кривая выходит за пределы верхней линии контура в начале абсциссы, то в материале избыточное количество мелкозема, в середине—избыточное количество песчано-гравийных фракций и недостаточно крупноклеточных и мелкозернистых, в конце—недостаточное количество крупных фракций.

Кривая выходит за пределы контура на значительном расстоянии—материал по своему составу не соответствует требованиям и должен улучшаться введением добавок.



Количество добавок, которое необходимо вводить в карьерный материал без получения оптимальной смеси, определяется следующим образом.

На графике (рис. 4) наносятся кривые гранулометрического состава смешиваемых материалов (например, гравий I и супесь II).

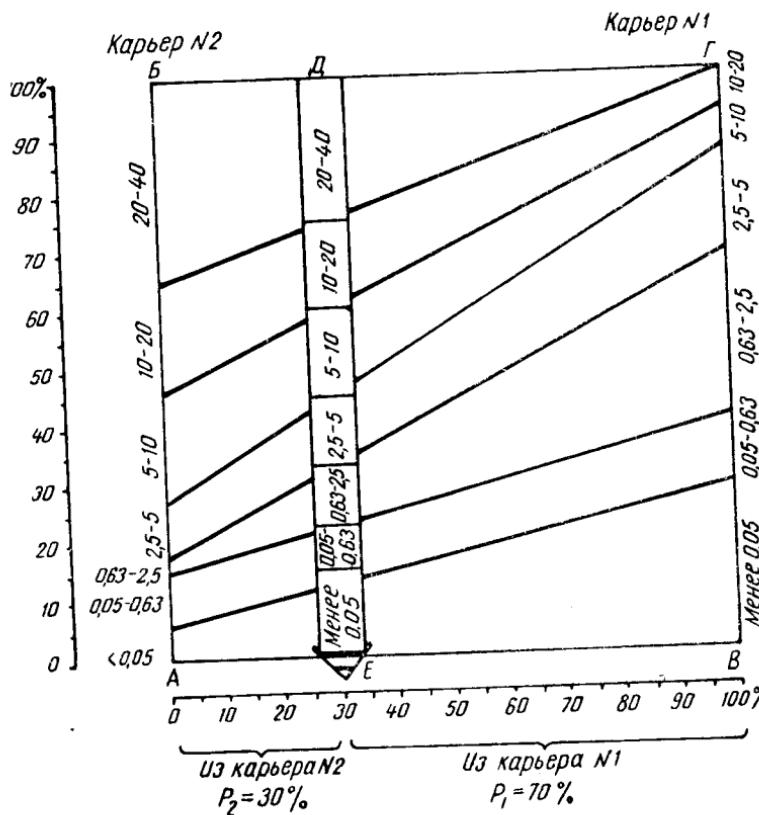


Рис. 4—5. Графический метод подбора оптимальных гравийных смесей (подвижная линейка).

На всех фиксированных абсциссах выделяются разности ординат двух кривых  $q'' - q_x$ . Отрезки  $q'' - q_x$  разделяются в таком соотношении  $z_1 : z_2$ , чтобы полученные точки по всем ординатам ( $A, B \dots$ ) не выходили за пределы контура рекомендемых смесей.

Процентное содержание исходных материалов в смеси обратно пропорционально отрезкам между кривой смеси и кривыми исходных материалов, т. е.

$$P_1 = \frac{z_2}{q'' - q} \cdot 100; \quad P_2 = \frac{z_1}{q'' - q} \cdot 100. \quad (4-7)$$

Расчет оптимальной гравийной смеси может быть также произведен с помощью графика и «подвижной линейки» (рис. 4—5).

Для этого на вертикальных линиях  $AB$  и  $BG$  в определенном масштабе откладывается гранулометрический состав материала первого и второго карьеров, на подвижной линейке  $ED$  — в том же масштабе состав оптимальной смеси. Наряду с этим строятся две масштабные координатные оси — ось ординат, для того чтобы откладывать состав материала, и ось абсцисс, для определения процента карьерных материалов в смеси.

Соединяя прямыми линиями одноименные фракции и передвигая линейку, можно найти процент карьерных материалов, при которых смесь будет соответствовать искомой.

Объем карьерных материалов в этом случае определяется из выражений:

$$V_1 = \frac{P_1}{100} \cdot \frac{\delta}{\delta_1} V; \quad (4-8)$$

$$V_2 = \frac{P_2}{100} \cdot \frac{\delta}{\delta_2} V,$$

где  $V$  — требуемый по проекту объем гравийной смеси,  $m^3$ ;

$P_1$ ,  $P_2$  — процентное содержание в смеси материалов из карьеров № 1 и 2;

$\delta$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  — объемная масса смеси и исходных материалов.

При отгрюхотке необходимый объем карьерного материала определяется по формуле

$$V_1 = \frac{V}{1 - 0,01 x}, \quad (4-9)$$

где  $x$  — процентное содержание в карьерном материале фракций, подлежащих отгрюхотке.

Прибавление мелкозема к гравийным материалам осуществляется за счет грунта земляного полотна. При этом земляное полотно заранее взрыхляется на глубину

$$h_1 = 0,01 P_2 h, \quad (4-10)$$

где  $P_2$  — процент добавок мелкозема;

$h$  — расчетная толщина покрытия,

доставляется в необходимом количестве карьерный материал и производится тщательное его перемешивание с местным грунтом.

#### 4—2. ОСНОВНОЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

На прочность дороги и ее покрытия влияет целый ряд факторов, таких, как климат, почвенно-грунтовые, гидрологические, эксплуатационные условия и другие. Эти факторы, а также различная прочность основания приводят к необходимости дифференцированно подходить к назначению толщины покрытий.

тия даже в пределах одной лесовозной дороги, т. е. рассчитывать его с учетом конкретных характеристик и условий.

Для расчета нежестких дорожных покрытий в нашей стране и за рубежом разработаны различные теории и практические методы [33, 47].

В качестве основного в СССР считается метод СоюздорНИИ, разработанный под руководством профессора Н. Н. Иванова. Он входит во все официальные инструкции и технические условия проектирования автомобильных дорог.

Согласно этому методу, порядок расчета состоит в следующем:

1. Уточняется состав движения по дороге и определяется приведенная интенсивность движения.

2. Определяется требуемый модуль деформации дороги как основная характеристика необходимой ее прочности.

3. Дорога разбивается на расчетные участки и для каждого из них устанавливается величина модуля деформации земляного полотна.

4. Назначаются варианты дорожного покрытия с учетом местных условий и наличием строительных материалов в данном районе, для каждого принятого строительного материала устанавливается расчетное значение модулей деформации.

5. Для каждого из намеченных вариантов дорожного покрытия определяется толщина всех конструктивных слоев и прочность дорожной конструкции в целом.

6. Производится сравнение прочности, требуемой из условий эксплуатации дороги и фактически запроектированной.

7. Производятся технико-экономические сравнения равнопрочных вариантов и выбирается наиболее выгодный из них.

Суточная интенсивность движения на автомобильной лесовозной дороге зависит от величины ее грузооборота, типа подвижного состава, применяемого на вывозке леса, и определяется по формуле

$$N_{\text{сут}} = \frac{2QK_{\text{пр}}}{Q_p}, \quad (4-11)$$

где  $Q$  — суточный грузооборот дороги,  $m^3$ ;

$Q_p$  — расчетный объем древесины, перевозимой за рейс,  $m^3$ ;

$K_{\text{пр}}$  — коэффициент, учитывающий влияние на дорогу прицепного подвижного состава, равный

$$K_{\text{пр}} = \frac{n_a + n_{\text{пр}}}{n_a};$$

$n_a$  — число колес у автомобиля;

$n_{\text{пр}}$  — число колес у прицепного состава.

При однородном движении на дороге полученное  $N_{\text{сут}}$  может быть принято за расчетное  $N_p$ . При смешанном же движении за расчетную нагрузку принимается условный автомо-

биль Н-13 или Н-8, к которому приводятся все более тяжелые и все более легкие автомобили.

Приведение автомобилей к Н-13 осуществляется при помощи графика (рис. 4—6). На горизонтальной оси графика откладывается фактическое количество автомобилей, проходящих

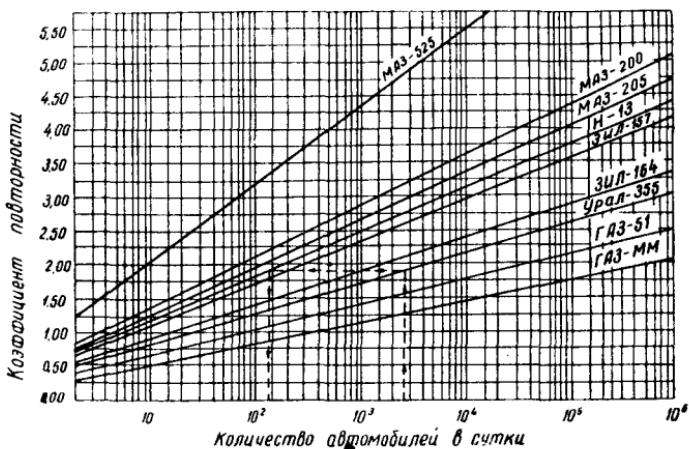


Рис. 4—6. График для проведения смешанной интенсивности движения к интенсивности движения расчетных автомобилей

по дороге за сутки. Через полученную точку проводится вертикаль до пересечения с наклонной линией, соответствующей данному типу автомобиля. От полученной точки проводится горизонталь до встречи с линией Н-13. Абсцисса точки пересечения горизонтальной и наклонной линий Н-13 дает иско-мую приведенную интенсивность движения. Ордината же этой точки представляет не что иное, как коэффициент повторности воздействия нагрузки.

Требуемый модуль деформации дороги определяется по формуле

$$E = \frac{\pi p \mu}{2\lambda} (0,5 + 0,65 \lg \gamma N_p) \text{ кн}/\text{м}^2, \quad (4-12)$$

где  $p$  — удельное давление колеса расчетного автомобиля на дорогу,  $\text{кн}/\text{м}^2$  (табл. 3), равное давлению в баллоне, увеличенному на 10%;

$\mu$  — коэффициент запаса на неоднородность условий работы покрытия, принимаемый для капитальных покрытий 1,2; для усовершенствованных покрытий 1,1; для покрытий переходного типа 1,0;

$\lambda$  — допустимая относительная деформация, равная  $\lambda = \frac{l}{D}$ ;

$l$  — абсолютная предельная деформация,  $m$ ;

$D$  — диаметр круга, равновеликого по площади отпечатку колеса, м;

$\gamma$  — коэффициент, учитывающий повторяемость нагрузки: при двухполосной проезжей части  $\gamma = 1$ , при однополосной  $\gamma = 2$ ;

$N_p$  — расчетная приведенная интенсивность движения.

Значение параметров лесовозных автомобилей, входящих в формулу (12), можно принимать из табл. 4—3.

Т а б л и ц а 4—3

Наименование автомобилей	$p, \text{ кн}/\text{м}^2$	$D, \text{ см}$
Условный автомобиль Н-13	500	34,0
МАЗ-200, МАЗ-501 . . . . .	600	32,8
Урал-355 . . . . .	450	26,0
ЗИЛ-150, ЗИЛ-164, ЗИЛ-130	440	29,5
ЗИЛ-157 . . . . .	280	29,3
ЗИЛ-151 . . . . .	550	25,0
ЯАЗ-214 . . . . .	600	33,0

Относительная деформация  $\lambda$  покрытия зависит от его типа и толщины. Принимается она для покрытий:

асфальтобетонных и брускатых . . . . . 0,034

черных щебеночных и гравийных . . . . . 0,040

щебеночных, гравийных, булыжных, покрытий из валунного камня и грубоколотой шашки . . . . . 0,050

гравийные и грунтовые, обработанные жидким битумом или дегтем . . . . . 0,060

Влияние толщины покрытия на допускаемую относительную деформацию учитывается после расчета отдельных слоев с последующим их пересчетом.

Если отношение  $\frac{h}{D} < 0,5$ , то приведенное выше значение  $\lambda$  уменьшается на 20 %. Если же  $\frac{h}{D} > 2$ , то  $\lambda$  увеличивается на 20 %.

Для определения приведенной толщины покрытия  $h$  необходимо просуммировать фактическую толщину слоев, умноженных на соответствующие коэффициенты приведения. Величина последних зависит от материала, из которого запроектирован тот или иной слой. Значение этих коэффициентов следующее:

для асфальтобетона . . . . .	2,0
для щебня и гравия, обработанных битумом . . .	1,6
для щебня . . . . .	1,0
для гравия, грунтоцемента . . . . .	0,9—0,85
для среднезернистого песка . . . . .	0,5
для мелкого песка . . . . .	0,35

Модули деформации земляного полотна устанавливаются в зависимости от дорожно-климатической зоны, гидрологических условий, типа грунта и конструкции дороги.

По климатическим условиям вся территория СССР разделена на пять дорожно-климатических зон.

**Первая зона** (вечной мерзлоты) расположена севернее линии Мончегорск — Пено — Несь — Ошкурье — Сухая Тунгуска — Канск — Туран — Слюдянка — Биробиджан — Де-Кастри.

**Вторая зона** (избыточного увлажнения) расположена к югу от границ первой зоны и ограничена линией Львов — Житомир — Калуга — Горький — Ижевск — Тобольск — Канск.

**Третья зона** (переменного увлажнения) включает лесостепную зону к югу от границ II зоны до линии Кишинев — Кировоград — Харьков — Куйбышев — Оренбург — Омск — Бийск — Туран.

**Четвертая зона** (недостаточного увлажнения) к югу от границ II зоны до линии Джурльфа — Степанокерт — Кировабад — Буйнакск — Кизляр — Сальск — Волгоград — Уральск и Целиноград — Тургай — Караганда — Семипалатинск.

**Пятая зона** (засушливая) к югу от границ четвертой зоны.

В каждой климатической зоне следует различать западную и восточную части, граница между которыми проходит по линии Архангельск — Астрахань. Для западной части в установленных пределах принимается меньшее значение модуля деформации, а для восточной — большее (табл. 4 — 4).

По гидрологическим условиям различают три типа местности:

1. **Сухие места без избыточного увлажнения.** Поверхностный сток обеспечен. Верховодка или грунтовые воды залегают от поверхности земли глубже, чем минимально необходимое возышение бровки полотна над уровнем грунтовых вод. Почвы без признаков заболачивания. Пески независимо от условий стока.

2. **Сырые места с избыточным увлажнением в отдельные периоды.** Поверхностный сток в отдельные периоды не обеспечен, но грунтовые воды не оказывают существенного влияния. Весной и осенью появляются застои воды на поверхности. Почвы с признаками поверхностного заболачивания.

3. **Сырые места с постоянным избытком увлажнения.** Верховодка или грунтовые воды залегают от поверхности земли на меньшей глубине, чем минимально необходимое возышение

Таблица 4—4

Тип местности	Группа грунтов	Значение модулей деформации в $Mn/m^2$ при конструкции земляного полотна		
		в нулевых отметках, в вы- емках и неболь- ших насыпях	в насыпях по НИТУ	в высоких насыпях
Зона вторая				
I	A	12—15	15—20	15—20
	B	9—12	12—16	12—16
	C	8—11	11—15	11—15
	D	7—9	9—11	11—12
II	A	8—11	12—15	15—20
	B	6—8	8—10	12—16
	C	6—8	8—9	11—15
	D	5—6	7—8	10—12
III	A	6—8	12—14	15—20
	B	4—6	8—10	12—16
	C	4—6	7—9	10—14
	D	3—4	6—8	10—12
Зона третья				
I	A	15—17	17—22	17—22
	B	12—15	15—18	15—20
	C	11—14	14—16	14—17
	D	10—12	12—15	12—16
II	A	9—18	13—14	14—18
	B	7—9	10—12	12—17
	C	6—8	9—11	12—16
	D	6—7	8—10	11—15
III	A	7—9	12—13	13—17
	B	6—7	9—12	12—16
	C	5—6	8—11	12—16
	D	4—6	8—9	10—13

Тип местности	Группа грунтов	Значение модулей деформации в $Mn/m^2$ при конструкции земляного полотна		
		в нулевых отметках, в выемках и небольших насыпях	в насыпях по НИГУ	в высоких насыпях
Зона четвертая				
I	A	17—20	20—22	20—22
	Б	15—18	16—20	16—20
	В	13—16	15—19	15—19
	Г	12—13	13—16	13—16
II	A	10—14	14—17	14—17
	Б	9—12	12—14	12—14
	В	8—9	11—13	11—13
	Г	6—8	9—12	9—12
III	A	—	13—16	14—18
	Б	—	10—13	12—16
	В	—	9—12	12—14
	Г	—	8—11	11—14
Зона пятая				
I	A	22—25	24—26	—
	Б	16—19	19—22	—
	В	15—18	19—22	—
	Г	14—18	16—19	—
II	A	12—15	15—20	—
	Б	10—12	13—16	—
	В	9—12	13—15	—
	Г	8—11	12—14	—
III	A	—	14—18	—
	Б	—	12—16	—
	В	—	12—14	—
	Г	—	11—13	—

бровки полотна над уровнем грунтовых вод. Почвы торфяные оглеенные с признаками заболачивания или солончаки. Постоянно орошаемые территории засушливой зоны.

Трасса проектируемой дороги разбивается на участки по грунтовым признакам. При этом различают следующие группы грунтов:

- а) очень мелкие пески, супеси и оптимальные смеси;
  - б) пески пылеватые, мелкие супеси непылеватые;
  - в) суглинки, тяжелые суглинки, глины легкие и тяжелые;
  - г) пылеватые грунты-супеси, пылеватые суглинки, лёсс.
- При установлении модуля деформации земляного полотна

Т а б л и ц а 4—5

№ пп.	Наименование материалов	Модули дефор- мации, $Mh/m^2$
1	Крупно-среднезернистый асфальтобетон . . . . .	300
2	Мелкозернистый асфальтобетон . . . . .	280
3	Песчаный асфальтобетон . . . . .	240
4	Грунтоасфальт . . . . .	180
5	Щебеночный материал из твердых каменных по- род 1 и 2 классов: а) не обработанный битумом . . . . . б) обработанный битумом или дегтем в уста- новке . . . . . в) то же, но обработанный смешением на дороге	120—130 180—160 140—160
6	Гравийный или грунтощебеночный материал с по- добранным гранулометрическим составом: а) не обработанный битумом . . . . . б) обработанный битумом или дегтем в уста- новке . . . . . в) то же, смешением на дороге . . . . .	100 240 192
7	Мостовые из булыжного камня с высотой шашки 16—18 см . . . . .	150—160
8	Пакеляж из камня высотой не менее 16 см: а) породы камня 1 и 2 класса . . . . . б) породы камня 3 и 4 класса . . . . .	180 170
9	Пески: а) крупнозернистые . . . . . б) среднезернистые . . . . . в) мелкозернистые . . . . .	30—35 25—30 15—20

необходимо учитывать его конструкцию на том или ином участке дороги.

Различаются следующие три типа конструкций полотна дороги:

1. Участки с нулевыми отметками, в выемках, в насыпях с отметками меньше тех, которые требуются по НИГУ.

2. Участки с невысокими насыпями, удовлетворяющими НИГУ.

3. Участки с высокими насыпями.

С учетом приведенных выше факторов расчетное значение модуля деформации земляного полотна автомобильной дороги принимается по табл. 4—4.

После установления модуля деформации земляного полотна устанавливаются значения модулей деформации материалов, которые используются в дорожном покрытии.

В табл. 4—5 приведены модули деформации основных дорожно-строительных материалов.

Материалы, модули деформации которых зависят от климатических зон, приведены в табл. 4—6.

Таблица 4—6

№ пп.	Наименование материалов	Климатические зоны		
		II	III	IV—V
1	Щебеночный материал (при устройстве оснований из каменных пород 3—4 классов) . . . . .	70—100* 100—120	80—100** 120—150	90—110 140—150
2	Гравийный или грунтощебеночный материал с подобранным гранулометрическим составом из каменных пород 2—3 классов . . . . .	50—90	45—90 80—190	50—100

Значение модулей деформации для грунтов, укрепленных вяжущими (в числителе — битумом, в знаменателе — цементом), приведено в табл. 4—7.

При выборе вариантов покрытий необходимо учитывать значение проектируемой дороги, условия работы покрытия и наличие строительных материалов в районе постройки дороги.

\* В числителе приведены данные для необработанного материала, а в знаменателе для обработанного битумом в установке. При обработке методом смешения на дороге значение  $E$  снижается на 20%.

\*\* Меньшее значение модуля деформации относится к большему классу твердости каменных материалов.

Таблица 4—7

№ пп.	Наименование укрепленных материалов	Модуль деформации ( $M_N/m^2$ ) при добавке вяжущего в % от веса грунта				
		6	8	10	12	14
1	Супеси среднезернистые . . . . .	$\frac{70}{60}$	$\frac{80}{90}$	$\frac{100}{120}$	$\frac{—}{140}$	—
2	Супеси мелкие . . . . .	$\frac{50}{50}$	$\frac{70}{80}$	$\frac{80}{100}$	$\frac{—}{140}$	—
3	Пылеватые грунты . . . . .	— 40	— 60	$\frac{60}{80}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{80}{120}$
4	Тяжелые суглинки . . . . .	—	—	$\frac{60}{80}$	$\frac{70}{90}$	$\frac{80}{100}$
5	Щебеночные и гравийные смеси оптимального состава . . . . .	— 160	—	— 200	—	—

Кроме того, необходимо помнить, что толщина отдельных конструктивных слоев по технологическим условиям не может быть меньше некоторой величины в см, а именно:

щебеночный слой на песке . . . . .	13—15
то же на плотном основании . . . . .	8—10
черный щебеночный слой на плотном основании . . .	5—7
грунтощебень . . . . .	10—12
то же, укрепленный битумом . . . . .	7—8
грунт, укрепленный битумом . . . . .	6—7
то же, укрепленный цементом . . . . .	12

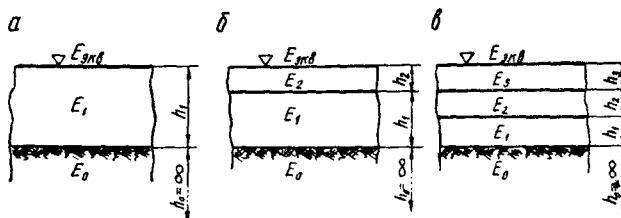


Рис. 4—7. Расчетная схема для определения эквивалентного модуля деформации:  
а — однослойное покрытие; б — двухслойное; в — трехслойное

В практике строительства автомобильных лесовозных дорог могут быть использованы однослойные, двухслойные и трехслойные покрытия. Расчетные схемы для них представлены на рис. 4—7.

Определение эквивалентного модуля деформации ( $E_{\text{экв}}$ ) для каждой из этих схем может быть произведено аналитическим путем, используя формулу СоюздорНИИ:

$$E_{\text{экв}} = \frac{E_0}{1 - \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) \arctg \frac{h}{D} n}, \quad (4-13)$$

где

$$n = \sqrt[2.5]{\frac{E_1}{E_0}};$$

$E_0$  — эквивалентный модуль деформации нижележащих слоев или модуль деформации грунта полотна дороги,  $Mh/m^2$ ;  
 $E_1$  — модуль деформации материала слоя,  $Mh/m^2$ ;  
 $h$  — толщина рассматриваемого слоя,  $m$ .

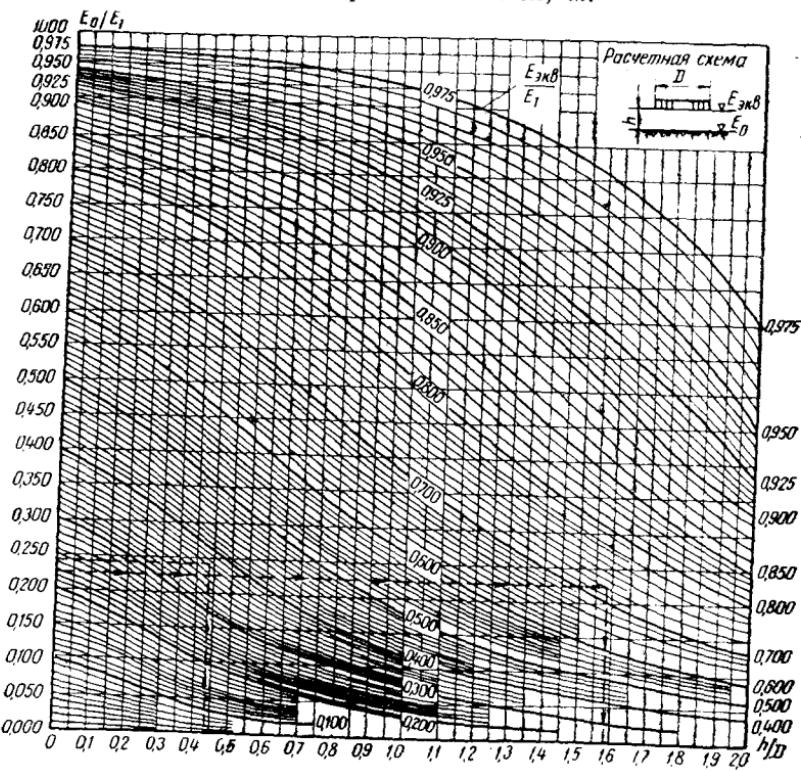


Рис. 4—8. Номограмма для расчета нежестких дорожных покрытий автомобильных дорог

Более быстро можно произвести расчеты, если воспользоваться номограммой (рис. 4—8), составленной на основании формулы (13).

Определение толщины однослойного покрытия с помощью номограммы производится в следующем порядке.

Принимается, что прочность дороги, характеризуемая эквивалентным модулем деформации, будет соответствовать требуемой прочности, т. е.  $E_{\text{экв}} = E_{\text{тр}}$ . Затем вычисляются отношения

$$\frac{E_0}{E_1} \text{ и } \frac{E_{\text{экв}}}{E_1} = \frac{E_{\text{тр}}}{E_1}.$$

На оси ординат откладывается значение  $\frac{E_0}{E_1}$  и через полученную точку проводится горизонталь до пересечения с кривой, цифра на которой соответствует полученному отношению  $\frac{E_{\text{экв}}}{E_1}$ . Точка пересечения проектируется на ось абсцисс, где находится отношение  $\frac{h}{D}$ .

Имея отношение  $\frac{h}{D}$  и зная значение  $D$  для расчетного автомобиля, легко находим искомую величину  $h$ .

Расчет двухслойного и трехслойного покрытия осуществляется путем последовательного перехода от слоя к слою снизу вверх. В практике проектирования дорог иногда применяют обратный порядок расчета, т. е. сверху вниз.

При расчете двухслойного покрытия сначала вычисляется эквивалентный модуль деформации ( $E'_{\text{экв}}$ ) для нижнего слоя  $E_1 h_1$  и грунтового основания  $E_0$ . Далее определяется эквивалентный модуль деформации ( $E''_{\text{экв}}$ ) для слоя  $E_2 h_2$  и нижнего эквивалентного слоя ( $E'_{\text{экв}}$ ). Толщинами  $h_1$  и  $h_2$  при этом необходимо задаваться, а наиболее выгодное их соотношение выбрать на основании технико-экономических сравнений.

Расхождение требуемого модуля деформации ( $E_{\text{тр}}$ ) и эквивалентного ( $E''_{\text{экв}}$ ) не должно превышать 10%. В противном случае необходимо изменить толщину слоев и произвести повторный расчет.

Слой износа (защитный коврик) при расчете покрытий на прочность не учитывается.

Трехслойное покрытие рассчитывается аналогично двухслойному с той лишь разницей, что после определения  $E''_{\text{экв}}$  определяется  $E'''_{\text{экв}}$  для слоя  $E_3 h_3$  нижележащей конструкции, характеризующейся модулем деформации  $E''_{\text{экв}}$ .

Произведя расчеты по определению толщины отдельных слоев покрытия и прочности дорожной конструкции в целом, для каждого принятого варианта определяем расход строительных материалов и стоимость 1 км покрытия.

Лучшим вариантом следует считать тот, для которого сумма строительных и эксплуатационных затрат будет наименьшей.

### 4—3. УСКОРЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕЖЕСТКИХ ПОКРЫТИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Применение этого метода целесообразно при выполнении ориентировочных и прикидочных расчетов. В основу его положена теория профессора Н. Н. Иванова, а суть состоит в том, что все расчеты выполняются при помощи номограммы.

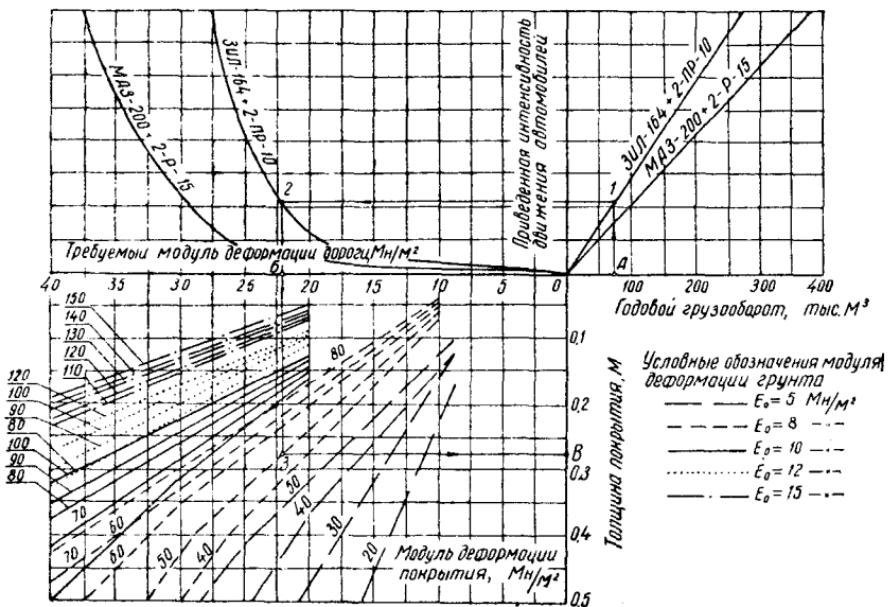


Рис. 4—9. Номограмма для определения толщины однослойных покрытий автомобильных лесовозных дорог

На рис. 4—9 приведена номограмма для расчета однослоиного покрытия автомобильных лесовозных дорог второй климатической зоны, а на рис. 4—10 — номограмма для определения толщины двухслойного покрытия.

Толщину однослоиного покрытия с помощью номограммы определяют следующим образом. По оси абсцисс откладывают заданный грузооборот лесовозной дороги, например 75 тыс.  $m^3$  в год. Из полученной точки *A* восстанавливают вертикаль до пересечения в точке *1* с линией, соответствующей принятому типу подвижного состава (в нашем примере автомобиль ЗИЛ-164 с прицепом-роспуском 2-ПР-10). Через точку пересечения *1* проводят горизонтальную линию во второй квадрант до встречи с кривой (точка *2*). Проекция точки пересечения на ось абсцисс дает требуемый модуль деформации материала дороги (точка *B*). В третьем квадранте помещены линии, цифры на которых обозначают модуль деформации материала покрытия, а вид линий

(сплошная, штриховая и т. д.) указывает, какой модуль деформации имеет подстилающий грунт. Учитывая это, из точки  $B$  опускают вертикаль до линии, цифра на которой совпадает с модулем деформации материала покрытия (примем  $E = 50 \text{ МН/м}^2$ , точка  $3$ ), а вид линии соответствует модулю деформации под-

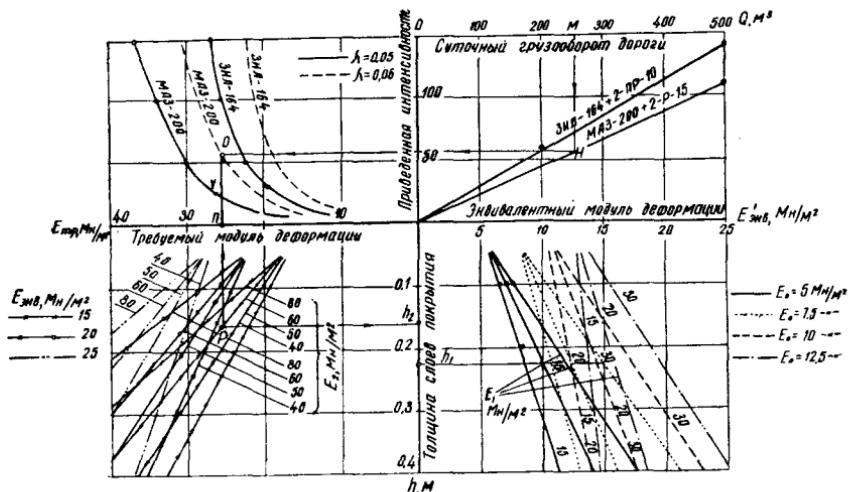


Рис. 4—10. Номограмма для расчета двухслойного покрытия автомобильных лесовозных дорог

стилающего грунта ( $E_0 = 8 \text{ МН/м}^2$ ). Точку пересечения  $3$  проектируют на ось ординат и получают искомую толщину покрытия  $h = 0,27 \text{ м}$  (точка  $B$ ).

Расчет двухслойного покрытия автомобильных лесовозных дорог можно произвести с помощью номограммы, представленной на рис. 4—10.

Исходными данными при расчете являются: суточный грузооборот  $Q$ ; расчетный модуль деформации грунта  $E_0$ ; модуль деформации материала первого слоя  $E_1$ ; модуль деформации второго слоя  $E_2$ ; допускаемая относительная деформация  $\lambda$ , которая для гравийных покрытий равна  $0,06$ , а для переходных типов —  $0,05$ ; тип лесовозного автомобиля и прицепа-роспуска.

Установив исходные данные, принимаем толщину первого слоя  $h_1$  и в четвертом квадранте номограммы по известному значению модуля деформации  $E_1$  находим эквивалентный модуль деформации  $E'_{экв}$ . Затем в первом квадранте откладываем суточный грузооборот дороги (допустим,  $Q = 250 \text{ м}^3$ , точка  $M$ ). Из точки  $M$  опускаем вертикаль до пересечения с линией, соответствующей заданному типу подвижного состава (точка  $H$ ). Через  $H$  проводим горизонталь во второй квадрант до встречи

с линией (точка  $O$ ), обозначающей тип автомобиля и относительную деформацию (например, автомобиль МАЗ-200, а относительная деформация  $\lambda = 0,06$ ). Точку  $O$  проектируем на ось абсцисс ( $P$ ) и получаем требуемый модуль деформации. Продолжая линию  $OP$  до пересечения с линией, цифра на которой соответствует модулю деформации второго слоя, а вид линии — эквивалентному модулю деформации  $E'_{\text{экв}}$ , и проектируя точку пересечения  $P$  на ось ординат, определяем потребную толщину покрытия  $h_2$ .

#### 4—4. РАСЧЕТ ЖЕСТКИХ ПОКРЫТИЙ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

К жестким относятся покрытия автомобильных лесовозных дорог, у которых жесткость отдельных конструктивных слоев и подстилающего грунта отличается друг от друга более чем в 30 раз. Этим требованиям удовлетворяют цементно-бетонные, железобетонные (рис. 4—11), деревянно-лежневые (рис. 4—12) и некоторые другие, используемые в лесной промышленности покрытия.

Для расчета жестких покрытий используются различные методы, базирующиеся на теориях балок и плит на упругом

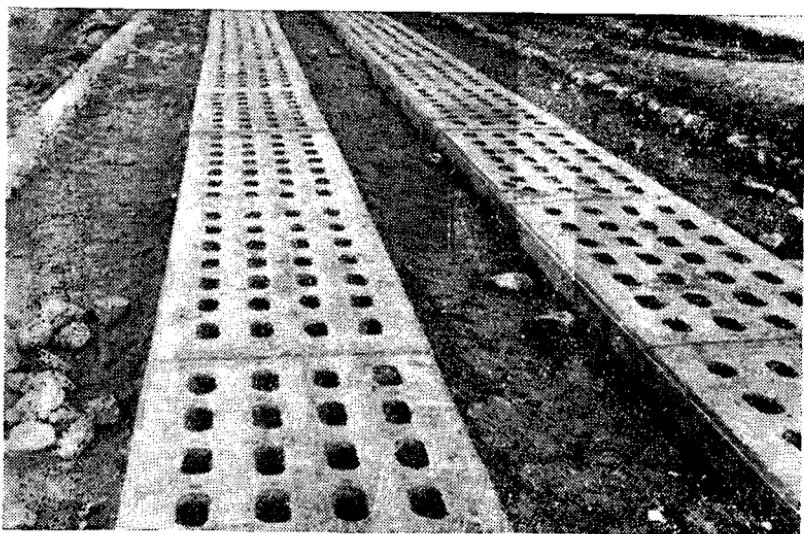


Рис. 4—11. Колейное железобетонное покрытие на автомобильной дороге

основании, разработанные отечественными учеными: академиком А. Н. Крыловым, профессором М. И. Горбуновым-Посадовым, Б. И. Женочкиным, В. И. Кузнецовым, А. И. Симбулиди, О. Я. Шехтер и др.

Среди этих методов нет универсальных, которые бы позволили производить расчеты покрытий различной жесткости с различным соотношением размеров плит, способа передачи давления на основание, формы опорной поверхности плит и других

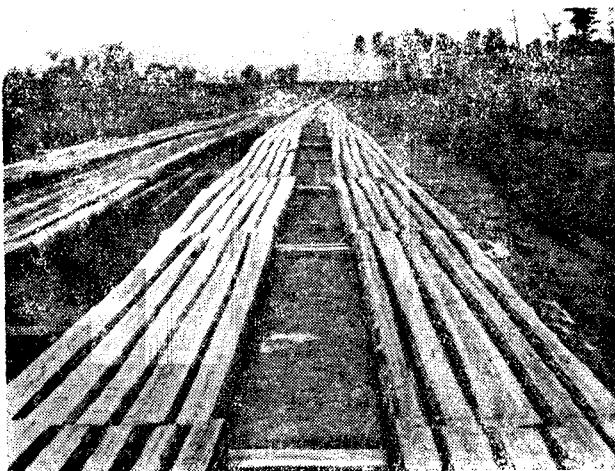


Рис. 4—12. Деревянное лежневое покрытие автомобильной лесовозной дороги

конструктивных особенностей. Каждый из них применим в определенных условиях, которые всегда необходимо тщательно учитывать, а возможность применения того или иного метода к расчету дорожного покрытия принятой конструкции необходимо соответствующим образом обосновать.

Рассмотрим порядок расчета основных типов жестких покрытий автомобильных лесовозных дорог, используя при этом методы, которые являются вполне доступными и дают сравнительно хорошие результаты.

### Деревянно-лежневые покрытия и их расчет

Деревянно-лежневые покрытия автомобильных дорог по характеру работы относятся к конструкциям на упругом основании. Их расчет, включающий определение геометрических параметров отдельных элементов и колесопроводов, может быть произведен методами теории упругости.

При этом в зависимости от конструктивных особенностей покрытия возможны следующие расчетные схемы:

1) лежневое покрытие, уложенное непосредственно на грунт, рассматривается как балка на сплошном упругом основании;

2) лежневое покрытие, уложенное на шпалы, рассматривается как балка на отдельных упругих опорах, а шпалы — как балка на сплошном упругом основании;

3) лежневое покрытие, уложенное на поперечины, а последние на продольные лаги, рассматривается как многоярусное.

Грунтовой засыпкой, которую часто применяют в практике дорожного строительства, при расчете лежневого покрытия на прочность можно пренебречь. Однако ее следует учитывать при определении механического износа и устойчивости древесины.

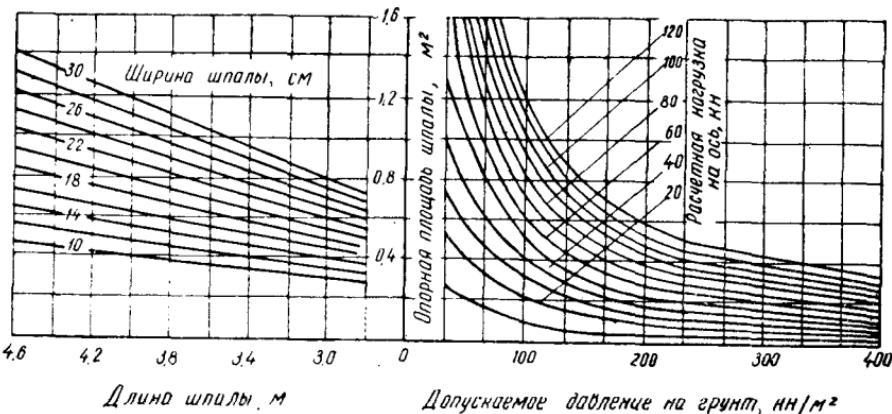


Рис. 4—13. Номограмма для определения опорной площади шпалы

Методика расчета лежневого покрытия по первой схеме разработана в ЦНИИМЭ и приведена в работе [25]. Расчет лежневого покрытия по этой схеме можно произвести и при помощи известных в строительной механике методов.

Многоярусные лежневые покрытия, по исследованиям А. И. Петрашень, рекомендуется рассчитывать с использованием вариационного метода.

Из числа конструкций лежневых покрытий, применяемых в лесной промышленности, наибольшее распространение получили те, которые относятся ко второй расчетной схеме.

Для расчета этого типа покрытий рекомендуется методика, разработанная [55] на основании теории профессора М. И. Горбунова-Посадова. Расчет покрытий производится следующим образом.

1. Уточняются исходные данные для расчета — модуль деформации грунта (табл. 4), расчетная осевая нагрузка и конструкция покрытия. Причем за расчетную осевую нагрузку следует принимать вес, приходящийся на наиболее тяжелую ось автомобильного поезда, умноженный на коэффициент динамического воздействия (1,2—1,5).

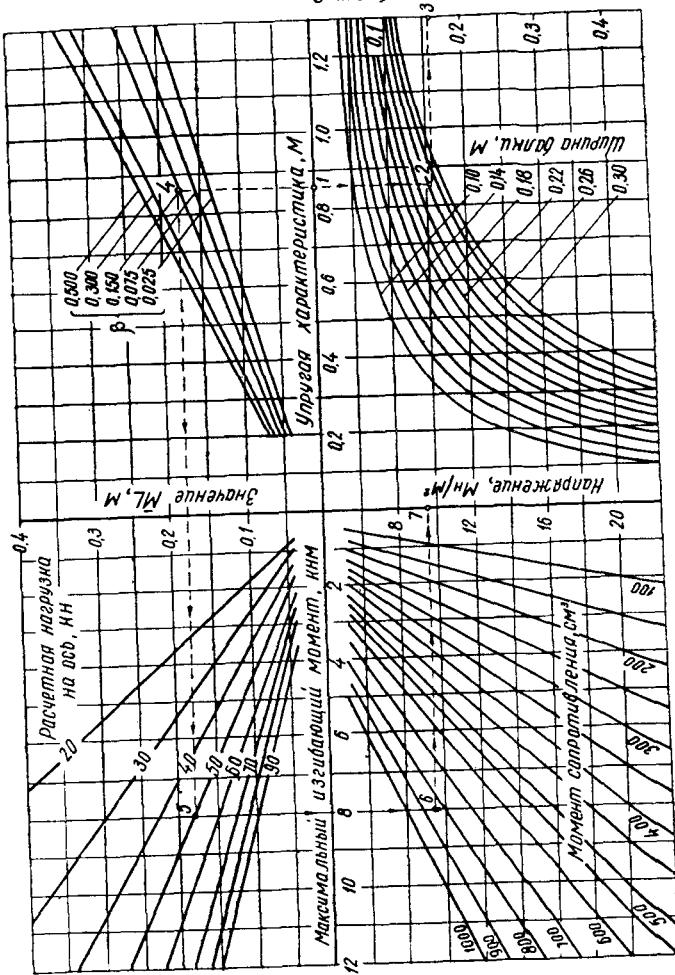


Рис. 4—14. Номограмма для расчета шпал на прочность

2. По номограмме (рис. 4—13) определяется опорная площадь шпалы. При этом на оси абсцисс откладывается допускаемое удельное давление на грунт, вычисленное по формуле

$$p = \alpha E_0 \text{ кн}/\text{м}^2, \quad (4-14)$$

где  $E_0$  — модуль деформации грунта,  $\text{кн}/\text{м}^2$ ;

$\alpha$  — числовой коэффициент; для малосвязных и несвязных грунтов  $\alpha = 0,009$ , для связных  $\alpha = 0,015$ .

Через полученную точку проводится вертикаль до пересечения с линией, цифра на которой соответствует расчетной осевой нагрузке, и по оси ординат будет найдена искомая площадь. По опорной площади шпалы устанавливается ее рациональная длина и ширина.

3. Напряжение в шпale определяется по номограмме, представленной на рис. 4—14. Исходными для пользования ею являются расчетная нагрузка на ось и упругая характеристика шпалы (табл. 4—8), учитывая относительную жесткость

шпалы и грунтового основания. Порядок определения напряжений по номограмме следующий. По оси абсцисс откладывается упругая характеристика шпалы и далее проводится вертикаль в квадрант IV до пересечения с кривой, обозначающей ширину шпалы. На вертикальной оси справа отыскивается приведенная полуширина  $\beta$ . После этого необходимо вернуться в исходную точку оси абсцисс и, последовательно используя известные данные, методом проекции в третьем квадранте найти искомую величину напряжения. На рис. 14 ход определения напряжения показан стрелками и цифрами.

4. Ширина колесопроводов и расстояние между ними зависят от габаритов подвижного состава и скорости движения. Графически эта зависимость представлена на рис. 4—15, где сплошной линией указана ширина колесопроводов, а пунктирной — расстояние между колесопроводами.

5. Наиболее рациональное расстояние между шпалами может быть установлено, исходя из минимальных затрат древесины на устройство покрытия, по номограмме рис. 4—16. После расчета шпалы определяется ее средний объем, который отклады-

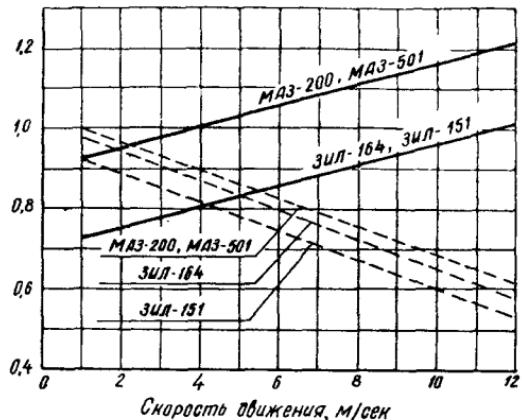


Рис. 4—15. График для определения ширины колесопроводов и расстояния между ними

вается вверху по оси абсцисс. После этого опускается перпендикуляр до пересечения с кривой, характеризующей принятую ширину колесопроводов. Через точку пересечения проводится горизонталь до встречи с кривой, обозначающей расчетную на-

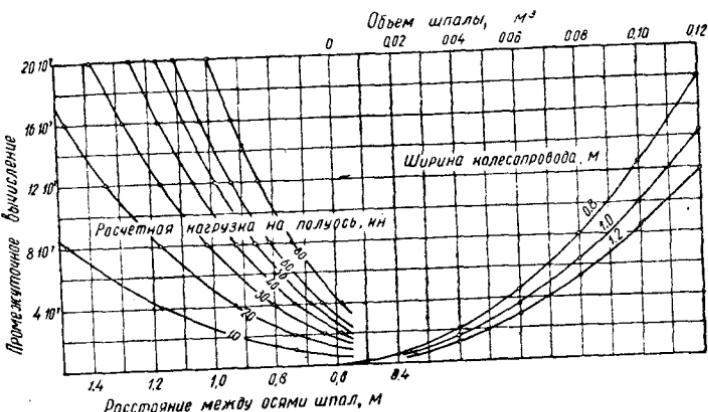


Рис. 4—16. Номограмма для определения расстояния между шпалами грузку на ось. Полученную точку проектируем на ось абсцисс второго квадранта и читаем искомое расстояние между шпалами.

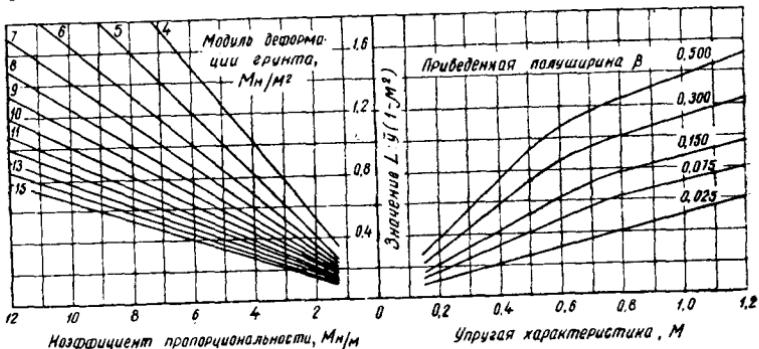


Рис. 4—17. Номограмма для определения коэффициента пропорциональности осадки шпал в зависимости от характеристики шпалы и упругого основания

6. Наиболее ответственным элементом покрытия автомобильной лежневой дороги являются продольные брусья-лежни, из которых собираются колесопроводы.

В основу расчета лежней как балки на отдельных упругих опорах положен коэффициент упругости, характеризующий зависимость между силой, приложенной к шпале, и вызванной ею осадкой. Определение коэффициента пропорциональности удобно производить по номограмме рис. 4—17, на которой по

оси абсцисс откладывается упругая характеристика шпалы (табл. 8). Через полученную точку проводится вертикальная линия до пересечения с приведенной полушириной  $\beta$ , затем проводится горизонталь до линии, соответствующей расчетному модулю деформации грунта. Полученную точку проектируем на ось абсцисс и находим коэффициент пропорциональности осадки шпал.

На основании полученных решений, используя номограмму (рис. 4—18), можно производить расчет лежней колесопровода. Порядок пользования номограммой рекомендуется проследить по цифрам, обозначающим точки пересечения вертикальных и горизонтальных линий с исходными и промежуточными данными вычислений.

По горизонтали квадранта III откладывается коэффициент пропорциональности (точка A), затем в полученной точке восстанавливается перпендикуляр до пересечения с пучком прямых, рассеивающихся слева направо, которые обозначают расстояние между шпалами. Через точку (1) проводим горизонталь в квадрант IV до пересечения с пучком линий, определяющих момент

Таблица 4—8

$EI$ $b$ , н.м	Значение упругой характеристики шпалы $L$ в м при $E_0$ , $Mn/m^2$										
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$1 \cdot 10^5$	0,33	0,31	0,30	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,24	0,23	0,23
$5 \cdot 10^5$	0,57	0,53	0,51	0,48	0,46	0,45	0,43	0,42	0,41	0,40	0,39
$10 \cdot 10^5$	0,71	0,67	0,64	0,61	0,59	0,56	0,54	0,53	0,52	0,51	0,49
$15 \cdot 10^5$	0,82	0,77	0,73	0,70	0,67	0,65	0,63	0,62	0,59	0,58	0,56
$20 \cdot 10^5$	0,90	0,85	0,80	0,77	0,74	0,71	0,69	0,67	0,65	0,64	0,62
$25 \cdot 10^5$	0,97	0,91	0,86	0,83	0,80	0,77	0,74	0,72	0,70	0,69	0,67
$30 \cdot 10^5$	1,03	0,97	0,92	0,88	0,84	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71
$35 \cdot 10^5$	1,03	1,02	0,97	0,92	0,89	0,86	0,83	0,81	0,79	0,77	0,75
$40 \cdot 10^5$	1,13	1,06	1,01	0,97	0,93	0,90	0,87	0,84	0,82	0,80	0,78
$45 \cdot 10^5$	1,18	1,12	1,05	1,00	0,97	0,93	0,91	0,88	0,87	0,84	0,82
$50 \cdot 10^5$	1,22	1,15	1,08	1,04	1,00	0,97	0,93	0,91	0,89	0,87	0,84
$55 \cdot 10^5$	1,26	1,18	1,13	1,07	1,03	1,00	0,97	0,94	0,91	0,90	0,87
$60 \cdot 10^5$	1,30	1,22	1,16	1,10	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,92	0,90
$65 \cdot 10^5$	1,33	1,25	1,19	1,14	1,10	1,06	1,02	0,99	0,97	0,94	0,92
$70 \cdot 10^5$	1,36	1,28	1,22	1,16	1,12	1,08	1,04	1,02	0,99	0,97	0,94
$75 \cdot 10^5$	1,40	1,31	1,25	1,19	1,15	1,11	1,07	1,04	1,02	0,99	0,97
$80 \cdot 10^5$	1,43	1,34	1,28	1,22	1,17	1,13	1,10	1,06	1,04	1,01	0,99

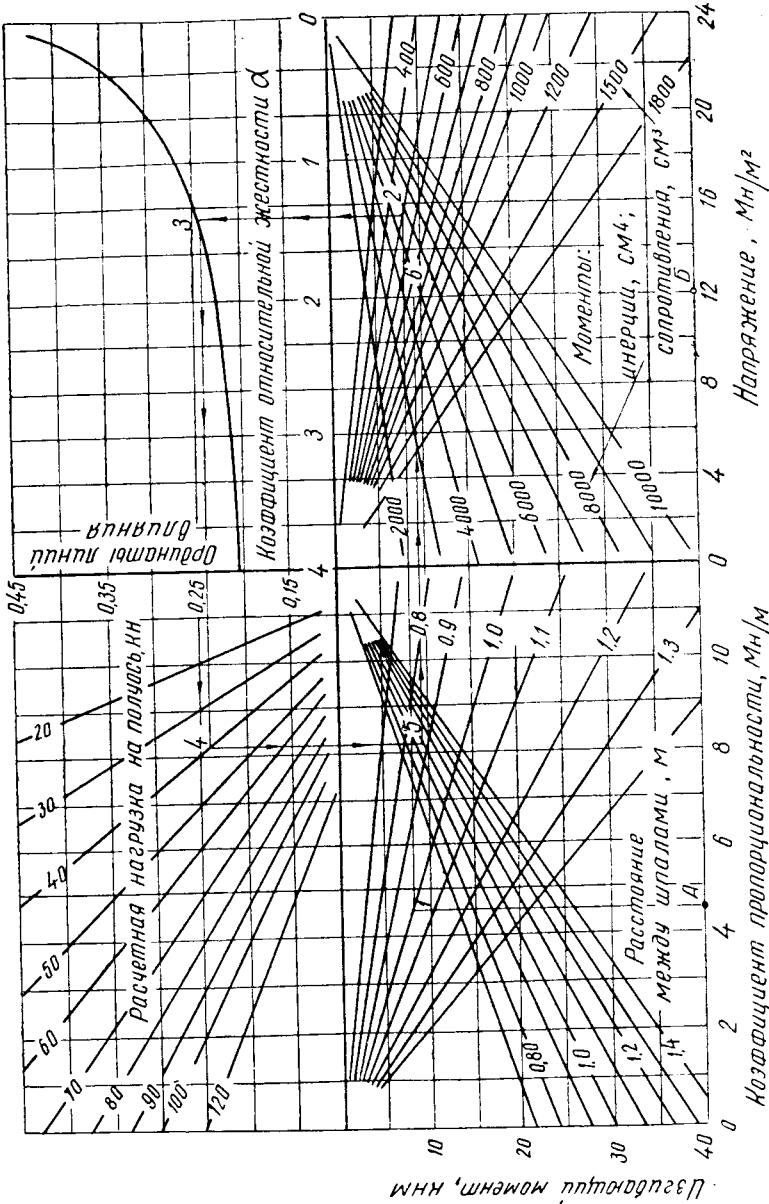


Рис. 4—18. Номограмма для расчета лежней колесопроводов

инерции лежня. Из точки 2 проводим вертикаль в квадрант I до пересечения с кривой. Из точки 3 проводим горизонталь до пересечения с прямыми расчетной нагрузки в квадрант II.

Точку 4 проектируем в квадрант III до пересечения с соответствующей линией (5) пучка прямых, рассеивающихся справа налево. После этого проводится горизонталь до пересечения с пучком прямых в квадранте IV, обозначающих момент сопротивления лежня. Точку пересечения (6) проектируем на ось абсцисс и находим искомое напряжение в лежне — точка *Б*.

Если полученное напряжение будет сильно отличаться от допускаемого, то необходимо изменить размеры лежня и произвести повторный расчет.

Пользуясь номограммой для расчета лежневого покрытия, следует иметь в виду, что при составлении номограмм принято самое невыгодное положение подвижной нагрузки. Для расчета шпалы наиболее тяжелая ось расположена под шпалой, для расчета лежней — в середине второго шпального пролета.

### Методы расчета железобетонных колейных покрытий

К расчетам железобетонных покрытий автомобильных лесовозных дорог относятся определение просадок, изгибающих моментов, перерезывающих и реактивных сил, а также вычисление напряжений в бетоне и арматуре при заданном сечении плиты или при подборе сечения плиты и арматуры.

За расчетную характеристику грунтового основания при расчете железобетонных колейных покрытий принимается также модуль деформации, численное значение его обычно рекомендуется принимать по табл. 4. В отдельных случаях при неблагоприятных грунтовых условиях, тяжелых нагрузках и избы-

Таблица 4—9

Характеристики	Марка бетона							
	150	200	250	300	350	400	500	600
Модуль упругости, $Mn/m^2$ . . . .	$1,8 \times 10^4$	$2 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$	$2,7 \times 10^4$	$2,9 \times 10^4$	$3,1 \times 10^4$	$3,4 \times 10^4$	$3,6 \times 10^4$
Предел прочности на растяжение при изгибе, $Mn/m^2$ . .	2,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,5	—
Предел прочности при растяжении, $Mn/m^2$ . . . .	1,3	1,6	1,8	2,1	2,3	2,5	2,8	3,0

точном увлажнении расчетное значение модулей деформации может быть уменьшено на 20—25 % против того, которое приведено в табл. 4, а для облегченных решетчатых плит — на 50 %.

Расчетные характеристики бетона и железобетона [37] можно принимать по данным табл. 4—9.

Определение просадок, изгибающих моментов, перерезывающих и реактивных сил производится следующими методами:

**а) Метод О. Я. Шехтера.** Применение этого метода возможно при условиях, когда

$$\frac{d}{L} \geq 1,5, \quad (4-15)$$

где  $d$  — расстояние от нагрузки до ближайшего края плиты;  
 $L$  — упругая характеристика плиты, определяемая равенством

$$L = h \sqrt[3]{\frac{E_1}{6E_a} \cdot \frac{1 - \mu_0^2}{1 - \mu_1^2}} \text{ м}; \quad (4-16)$$

$h$  — толщина плиты, м;

$E_1$  — модуль упругости плиты,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;

$E_a$  — модуль деформации основания,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;

$\mu_0, \mu_1$  — коэффициенты Пуассона для основания (пески 0,25—0,30, супеси и суглинки 0,33—0,37, глины твердые 0,20—0,30, глины пластичные 0,38—0,45 и плиты (бетон и железобетон) 0,15 [31].

Проведенные исследования показывают, что в качестве расчетной необходимо принимать схему при положении наиболее тяжелой оси автомобильного поезда на середине плиты. Нагрузку от колес с достаточной для практических целей точностью можно принять сосредоточенной.

Величина усилий в плите определяется по данным табл. 4—10 в зависимости от приведенного расстояния между рассматриваемой точкой и положением нагрузки

$$\rho = \frac{r}{L}, \quad (4-17)$$

где  $r$  — фактическое расстояние, м;

$L$  — упругая характеристика плиты, м.

Формулы перехода от безразмерных расчетных величин к действительным следующие:

реактивные давления

$$P = \bar{P} \cdot \frac{P}{L^2} \text{ Н}/\text{м}^2; \quad (4-18)$$

прогибы (осадки) плиты

$$W = \bar{W} \cdot \frac{(1 - \mu_0^2) P}{E_a L} \text{ м}; \quad (4-19)$$

Таблица 4—10

$\rho$	$\bar{P}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}_p$	$\bar{M}_r$	$\bar{M}_t$
0,00	0,192	0,385	$\infty$	$\infty$	$\infty$
0,05	0,185	0,384	3,178	0,256	0,322
0,1	0,177	0,382	1,582	0,191	0,258
0,2	0,162	0,377	0,779	0,129	0,195
0,3	0,149	0,369	0,506	0,093	0,158
0,4	0,136	0,359	0,367	0,068	0,132
0,6	0,114	0,338	0,224	0,037	0,094
0,8	0,094	0,314	0,150	0,016	0,074
1,0	0,077	0,291	0,105	0,004	0,057
1,2	0,063	0,268	0,074	-0,005	0,045
1,4	0,051	0,247	0,053	-0,011	0,035
1,6	0,041	0,226	0,038	-0,014	0,028
1,8	0,033	0,207	0,027	-0,015	0,022
2,0	0,026	0,189	0,019	-0,016	0,018
2,2	0,020	0,173	0,013	-0,016	0,014
2,4	0,015	0,159	0,008	-0,016	0,011
2,6	0,012	0,146	0,005	-0,015	0,009
2,8	0,009	0,135	0,002	-0,014	0,007
3,0	0,007	0,124	0,000	-0,013	0,006
3,2	0,005	0,115	0,000	-0,012	0,005
3,4	0,003	0,107	-0,001	-0,011	0,004
3,6	0,002	0,099	-0,002	-0,010	0,003
3,8	0,002	0,093	-0,002	-0,008	0,002
4,0	0,001	0,087	-0,002	-0,007	0,002

изгибающие моменты

$$M = \bar{M}P \kappa; \quad (4-20)$$

поперечные силы

$$Q = \bar{Q} \frac{P}{L} \kappa / m^2, \quad (4-21)$$

где

$P$  — сосредоточенная нагрузка, вес, приходящийся на полуось, умноженный на коэффициент динамичности (обычно 1,2);

$\bar{P}, \bar{W}, \bar{M}, \bar{Q}$ , — безразмерные величины — ординаты эпюров расчетных характеристик.

Следует учитывать, что значение усилий, вычисленных по формулам (18—21), отнесены к 1 м ширины плиты.

Расчетные значения моментов для какого-либо направления могут быть получены из выражения

$$M = M_r \cos^2\alpha + M_t \sin^2\alpha, \quad (4-22)$$

где  $M_r$  — радиальный изгибающий момент, нм;

$M_t$  — тангенциальный изгибающий момент, нм;

$\alpha$  — угол между направлением действия момента и рассматриваемым направлением.

Применяя метод О. Я. Шехтер к расчету железобетонных плит вместо сосредоточенной силы  $P$  от колес подвижного состава, можно подставлять давления, приложенные на элементарные площадки, разделить на которые нетрудно отпечатки колес автомобиля [8, 31].

б) **Методы профессора М. И. Горбунова-Посадова.** Расчет железобетонных плит по методам профессора М. И. Горбунова-Посадова [23], как и другие методы расчета конструкций на упругом основании, выполняется путем последовательного приближения. Вначале необходимо задаться размерами плиты, определить ее жесткость, характеристики сечения и после этого, учитывая несущую способность основания, произвести поверочный расчет.

Железобетонные плиты, используемые для покрытий автомобильных лесовозных дорог, по характеру работы, соотношению размеров в плане и жесткости могут рассматриваться как полосы или как балки на упругом основании.

К полосам относятся конструкции, которые имеют удлиненную прямоугольную опорную площадь, причем любая полоса шириной 1 м, выделенная в поперечном направлении из конструкции, работает в одинаковых условиях со всякой другой такой же полосой.

Полосы в зависимости от показателя гибкости

$$t = 10 \frac{E_0}{E_1} \cdot \frac{a^3}{h^3}, \quad (4-23)$$

где  $E_0$  — модуль деформации основания, н/м<sup>2</sup>;

$E_1$  — модуль упругости плиты, н/м<sup>2</sup>;

$a$  — полудлина плиты, м;

$h$  — толщина плиты, м,

подразделяются на следующие категории: жесткие при  $t < 1$ , короткие при  $1 \leq t \leq 10$ , длинные при  $t > 10$ .

Для жестких и коротких плит истинные значения реактивных давлений  $P$ , поперечных сил и изгибающих моментов  $M$  определяются при помощи следующих равенств:

$$P = \bar{P} \frac{P}{b'a} \text{ н/м}^2; \quad (4-24)$$

$$Q = \bar{Q}P \text{ н; } \quad (4-25)$$

$$M = \bar{M}aP \text{ н.м, } \quad (4-26)$$

где  $\bar{P}$ ,  $\bar{Q}$ ,  $\bar{M}$  — ординаты безразмерных эпюров;

$P$  — сосредоточенная расчетная нагрузка на плиту, н;

$b'$  — ширина полосы, м;

$a$  — полудлина полосы, м.

Значения безразмерных величин при положении сосредоточенной внешней нагрузки на середине плиты в зависимости от показателя гибкости  $t$  приведены в табл. 4-11.

Т а б л и ц а 4-11

Обозначение безразмерных величин	Безразмерные величины при $t$ , равном						
	0	1	2	3	5	7	10
$\bar{P}$	0,32	0,39	0,45	0,50	0,58	0,65	0,74
$\bar{Q}$	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
$\bar{M}$	0,32	0,29	0,28	0,27	0,25	0,23	0,22

Расчет длинных плит выполняется в следующем порядке. Вычисляется характеристика полосы по формуле

$$L = h \sqrt[3]{\frac{E_1}{6E_0}} \text{ м.} \quad (4-27)$$

Устанавливается приведенное расстояние от точки приложения нагрузки до концов плиты

$$\alpha = \frac{d}{L}, \quad (4-28)$$

где  $d$  — фактическое расстояние от точки приложения силы до концов плиты, м.

Причем если  $\alpha > 2$ , то плиту нужно относить к бесконечной, а если  $\alpha \leq 2$ , то к полубесконечной. Затем действительные значения давлений  $P$ , поперечных сил  $Q$  и изгибающих моментов  $M$  определяются по формулам:

$$P = \bar{P} \frac{P}{b'L} \text{ н./м}^2; \quad (4-29)$$

$$Q = \bar{Q}P \text{ н; } \quad (4-30)$$

$$M = \bar{M}LP \text{ н.м.} \quad (4-31)$$

Безразмерные величины для случая бесконечной плиты в точке приложения силы имеют следующие значения:

$$\bar{P} = 0,38; \quad \bar{Q} = 0,5; \quad \bar{M} = 0,38.$$

В том случае, когда она будет относиться к полубесконечной, значение безразмерных величин под силой можно брать из табл. 4—12.

Таблица 4—12

	Безразмерные величины при $\alpha$ , равном										
	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
$\bar{P}$	—	1,40	0,88	0,62	0,50	0,44	0,41	0,38	0,38	0,39	0,39
$\bar{Q}$	0	0,34	0,49	0,54	0,55	0,54	0,53	0,51	0,48	0,48	0,48
$\bar{M}$	0	0,04	0,11	0,18	0,24	0,28	0,32	0,37	0,40	0,42	0,40

Железобетонные покрытия автомобильных лесовозных дорог могут рассчитываться как балки в условиях пространственной задачи, если будет соблюдено следующее неравенство:

$$\alpha = \frac{a}{b} \geqslant 7, \quad (4-32)$$

где  $a$  — полудлина, м;  
 $b$  — полуширина, м.

Производя расчет дорожной плиты по схеме балки на упругом полупространстве, необходимо проверить ее жесткость в поперечном направлении. Для этого вычисляется показатель гибкости

$$t_n = \frac{3\pi(1 - \mu_1^2)E_0 b^3}{(1 - \mu_0^2)E_1 h^3}, \quad (4-33)$$

где  $\mu_0$ ,  $\mu_1$  — коэффициенты Пуассона для основания и плиты;  
 $h$  — толщина плиты, м;

$E_0$  — модуль деформации грунта,  $\text{Н}/\text{м}^2$ ;

$E_1$  — модуль упругости железобетона,  $\text{Н}/\text{м}^2$ .

Жесткой в поперечном направлении можно считать плиту, если удовлетворяется условие  $t_n < 1$ .

Проверив жесткость в поперечном направлении, следует вычислить упругую характеристику балки

$$L = \frac{2E_1 J (1 - \mu_0^2)}{b' E_0} \text{ м}, \quad (4-34)$$

где  $J$  — момент инерции балки,  $\text{м}^4$ ;

$b'$  — ширина балки, м,

и показатель гибкости

$$t = \frac{\pi E_0 a^3 b}{2(1 - \mu_0^2) E_1 J}. \quad (4-35)$$

Балку можно принимать за жесткую во всех случаях, если  $t \leq 0,5$  и при  $0,5 \leq t \leq 1$ , если  $\alpha < 20$ .

Балку можно принимать за длинную, если

$$\begin{aligned} \text{при } 0,01 < \beta < 0,15 & \quad \lambda > 1,0; \\ \text{при } 0,15 \leq \beta \leq 0,30 & \quad \lambda > 2,0; \\ \text{при } 0,30 < \beta \leq 0,50 & \quad \lambda > 3,5, \end{aligned} \quad (4-36)$$

где  $\beta = \frac{b'}{2L}$  — приведенная полуширина балки;

$\lambda = \frac{a}{L}$  — приведенная полудлина балки.

Балки, которые не подходят к жестким и длинным, следует относить к коротким и рассчитывать соответствующими методами.

Для расчета жестких балок используются равенства:

$$\text{реактивное давление } P = \bar{P}_0 \frac{P}{a} \text{ н/м}; \quad (4-37)$$

$$\text{перерезывающая сила } Q = -\bar{Q}P \text{ н}; \quad (4-38)$$

$$\text{изгибающий момент } M = \bar{M}Pa \text{ нм}; \quad (4-39)$$

$$\text{осадка } Y = \bar{Y} \frac{1 - \mu_0^2}{E_0} \cdot \frac{P}{a} \text{ м}. \quad (4-40)$$

В качестве расчетной схемы примем положение сосредоточенной силы на середине балки.

Максимальное значение безразмерных величин, входящих в формулы (37—40), в зависимости от соотношения сторон  $\alpha$  приведены в табл. 4—13.

Таблица 4—13

$\alpha$	$\bar{P}$	$\bar{Q}$	$\bar{M}$	$\bar{Y}$
7	0,434	-0,500	0,2710	—
10	0,439	-0,500	0,2703	1,081
15	0,447	-0,500	0,2672	1,210
20	0,452	-0,500	0,2654	1,302
30	0,458	-0,500	0,2634	1,431
50	0,464	-0,500	0,2615	1,595

Расчет длинных балок ведется также по таблицам безразмерных величин. Максимальные значения ординат безразмерных эпюр для случая бесконечной балки приведены в табл. 4—14.

Таблица 4-14

	Безразмерные величины при значении $\beta$					
	от 0,01 до 0,04	от 0,04 до 0,10	от 0,10 до 0,20	от 0,20 до 0,40	от 0,40 до 0,70	от 0,70 до $\infty$
$\bar{P}$	0,761	0,620	0,555	0,490	0,440	0,380
$\bar{Q}$	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500	-0,500
$\bar{M}$	0,176	0,214	0,230	0,282	0,300	0,380
$\bar{Y}$	2,140	1,370	1,070	0,780	0,600	—

Для перехода от безразмерных ординат к действительным значениям расчетных характеристик профессор М. И. Горбунов-Посадов предлагает следующие формулы:

$$P = \bar{P} \frac{P}{L}; \quad (4-41)$$

$$Q = \bar{Q} P; \quad (4-42)$$

$$M = \bar{M} P L; \quad (4-43)$$

$$Y = \bar{Y} \frac{1 - \mu_v^2}{E_0} \cdot \frac{P}{L}. \quad (4-44)$$

Расчет плит по схеме коротких балок связан с решением системы уравнений, изложение которой является довольно громоздким. В случае необходимости его можно найти в работах профессора М. И. Горбунова-Посадова [23].

### Определение несущей способности железобетонных плит

Рассмотренные выше методы расчета дорожных плит как конструкций на упругом основании позволяют определить изгибающий момент в плите, возникающий под воздействием внешних сил. Но, кроме этого, всегда необходимо вычислить фактическую несущую способность плиты. Достаточная прочность плиты будет при условии, когда

$$M \leq M_{\text{вн}}, \quad (4-45)$$

где  $M$  — изгибающий момент от внешних сил;

$M_{\text{вн}}$  — изгибающий момент от внутренних сил.

Численное значение  $M_{\text{вн}}$  определяется по формуле

$$M_{\text{вн}} = m (R_u S_b + m_a R_a S_a), \quad (4-46)$$

где  $m$  — коэффициент условий работы, принимаемый для дорожных плит: сборных  $m = 1,0$ ; сборно-разборных  $m = 0,8-0,9$ ;

$R_u$  — расчетное сопротивление бетона на сжатие при изгибе, в зависимости от марки его принимается: марка бетона 200  $R_u = 10-11 \text{ Mn/m}^2$ ; 300—16—17, 400—21—23, 500—26—28  $\text{Mn/m}^2$ ;

$m_a$  — коэффициент условий работы арматуры [61], который для дорожных плит может быть принят равным 1;  
 $S_6$  — статический момент площади сечения сжатой зоны бетона относительно центра тяжести арматуры  $F_a$ ,  $m^3$ ;  
 $S_a$  — статический момент площади сечения всей арматуры относительно центра тяжести арматуры  $F_a$ ,  $m^3$ ;  
 $R_a$  — расчетное сопротивление арматуры,  $Mn/m^2$ .

При расчетах дорожных железобетонных плит значение  $R_a$  принимается по табл. 4—15.

Таблица 4—15

Вид арматуры	Расчетное сопротивление арматуры $R_a$ , $Mn/m^2$	
	растянутой	сжатой
Горячекатаная, круглая, полосовая или фасонная из стали марки Ст. 0 ГОСТ 380—57	170	170
То же, из стали марки Ст. 3 . . . . .	210	210
Горячекатаная круглая из стали марки Ст. 0, подвергнутая силовой калибровке . . .	210	170
То же, из стали марки Ст. 3 . . . . .	250	210
Горячекатаная периодического профиля из стали марки Ст. 5 ГОСТ 5781—58 . . .	240	240
То же, из стали марки 25Г2С и 35ГС . . .	340	340
Арматура из холоднотянутой проволоки диаметром 6—10 мм ГОСТ 6727—53 . .	360	360
Холодносплющенная периодического профиля из сталей марки Ст. 0 или Ст. 3 .	360	360

Статические моменты  $S_6$  и  $S_a$  вычисляются как произведение площади сечения бетона, арматуры на расстояние до арматуры  $R_a$ .

Значение статического момента для площади поперечного сечения арматуры  $S_a$  не зависит от формы опорной площади и сечения плиты.

Для основных колейных железобетонных покрытий (рис. 4—19) он равен

$$S_a = F_a(h_0 - a') \ m^3. \quad (4-47)$$

Что касается статического момента площади сечения сжатой зоны бетона, то он зависит от формы сечения и способа армирования.

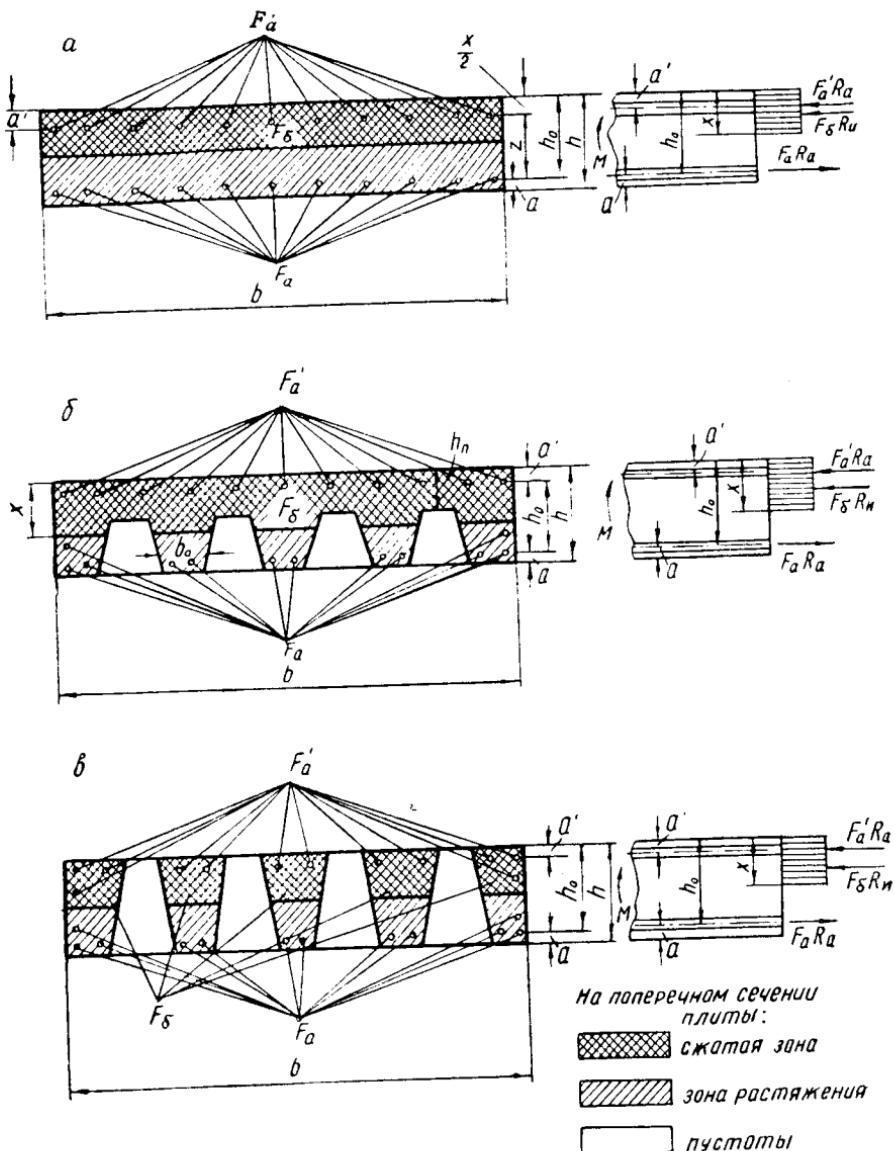


Рис. 4—19. Форма поперечного сечения плит:  
а — сплошная, прямоугольная; б — ячеистая; в — решетчатая

Для прямоугольного сплошного сечения (рис. 19, а)

$$S_6 = bx \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) M^3, \quad (4-48)$$

где  $b$  — ширина плиты, м;

$h_0$  — полезная высота сечения, м;

$x$  — высота сжатой зоны; вычисляется из выражения

$$x = \frac{m_a R_a F_a - m_a R_a F'_a}{R_u b}. \quad (4-49)$$

Для ячеистого сечения (рис. 19, б)

$$S_6 = bh_n \left( h_0 - \frac{h_n}{2} \right) + nb_0(x - h_n) \left( h_0 - \frac{x - h_n}{2} \right), \quad (4-50)$$

где  $h_n$  — толщина полки;

$b_0$  — средняя ширина выступов;

$n$  — число выступов;

$x$  — высота сжатой зоны, равная

$$x = \frac{m_a F_a R_a - m_a F'_a R_a}{R_u n b_0} - \frac{h_n b}{n b_0} + h_n. \quad (4-51)$$

Для решетчатых плит (рис. 19, в) статический момент сечения может быть вычислен из равенства

$$S_6 = b_{np} x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right), \quad (4-52)$$

где  $b_{np}$  — приведенная ширина сечения, полученная путем деления площади поперечного сечения сжатой зоны бетона на половину высоты плиты, т. е. на  $0,5h$ ;

$x$  — определяется по формуле (49).

Сечение бетона сжатой зоны плиты должно удовлетворять условиям:

$$1) S_6 \leq 0,8 S_0,$$

где  $S_0$  — статический момент площади всего рабочего сечения бетона относительно центра тяжести арматуры  $F_a$ ;

$$2) x \leq 0,55h_0; \quad 3) x \geq 2a'.$$

При  $x > 0,55h_0$  необходимо увеличить размеры сечения или повысить марку бетона.

Формулу (46) следует применять при условии, когда площадь сечения арматуры верхней зоны  $F'_a$  меньше площади сечения арматуры нижней зоны  $F_a$ , т. е. при  $F'_a < F_a$ .

Значения  $F'_a$  и  $F_a$  при заданных расчетных условиях, размерах сечения плиты, расчетных сопротивлениях бетона и арматуры и при известных коэффициентах условий работы определяются по формулам:

$$F'_a = \frac{\frac{M}{m} - 0,4bh_0^2R_u}{m_a R_a (h_0 - a')}; \quad (4-53)$$

$$F_a = 0,55 \frac{R_a}{m R_a} b h_0 + F'_a. \quad (4-54)$$

В том случае, когда  $F'_a = F_a$ , расчет плиты удобно производить по формуле

$$M \leq m m_a F_a R_a (h_0 - a'), \quad (4-55)$$

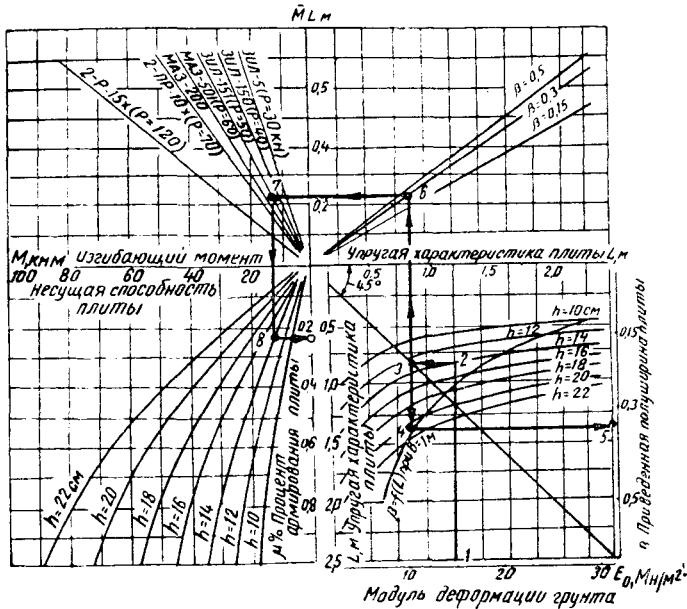


Рис. 4-20. Номограмма для определения толщины железобетонных плит

а площадь сечения арматуры вычислять из выражения

$$F'_a = F_a = \frac{M}{m m_a R_a (h_0 - a')}. \quad (4-56)$$

Зная  $F'_a$  и  $F_a$ , процент армирования можно получить из равенства

$$\mu = \frac{(F'_a + F_a) \cdot 100}{F_6} %. \quad (4-57)$$

Нормами и техническими условиями [61] установлены следующие значения наибольших процентов армирования железобетонных элементов прямоугольного сечения с двойной арматурой (табл. 4-16).

Для определения толщины железобетонных плит колейных лесовозных дорог можно использовать номограмму (рис. 4-20), составленную на основании теории проф. М. И. Горбунова-Посадова и основных положений расчета железобетонных кон-

Таблица 4—16

Значение $m_a R_a$ , $Mn/m^2$	Наибольший процент армирования при марке бетона			
	200	300	400	500
170	3,88	—	—	—
210	3,14	5,00	6,00	8,16
240	2,75	4,40	5,76	7,15
300	2,00	3,20	4,20	5,20
340	1,94	3,10	4,08	5,05

структур. Последовательность определения толщины по номограмме показана стрелками, а значения промежуточных и искомых величин обозначены цифрами.

### Принципы расчета несущей способности плит с предварительно напряженной арматурой

Предварительно напряженные железобетонные конструкции приобретают все большее распространение в строительной индустрии, и в частности в дорожном строительстве.

Предварительное напряжение бетона повышает его прочность на растяжение, создает постоянно действующую сжимающую силу, препятствующую образованию и раскрытию трещин, позволяет при той же прочности уменьшить толщину элементов и тем самым снизить расход материала и вес конструкции.

В настоящее время уже имеется большое количество разработанных конструкций дорожных покрытий с предварительно напряженной арматурой [31, 89]. Разработаны также способы натяжения арматуры, технология постройки монолитных покрытий и изготовления плит для сборно-разборных покрытий.

Одна из конструкций плит с предварительно напряженной арматурой, разработанных для автомобильных лесовозных дорог, приведена на рис. 4—21. На 1  $m^2$  такой плиты требуется 0,077  $m^3$  бетона и 5,4 кг стали, в то время как для равнопрочной ненапряженной плиты требуется 0,10  $m^3$  бетона и 9 кг стали.

Расчет железобетонных плит с предварительно напряженной арматурой имеет целый ряд особенностей [38] и отличается от расчета ненапряженных конструкций. Сечение плит должно удовлетворять условию

$$M < m(R_u S_b + R_a S_a + \sigma'_c S_n). \quad (4-58)$$

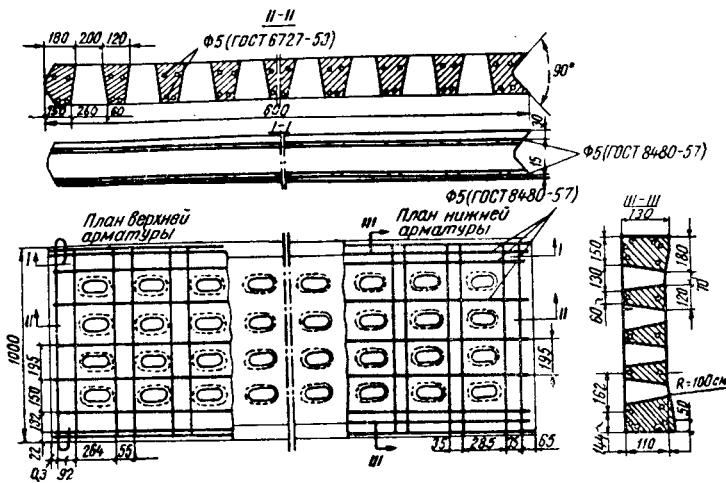


Рис. 4—21. Плита с предварительно напряженной арматурой конструкции БТИ

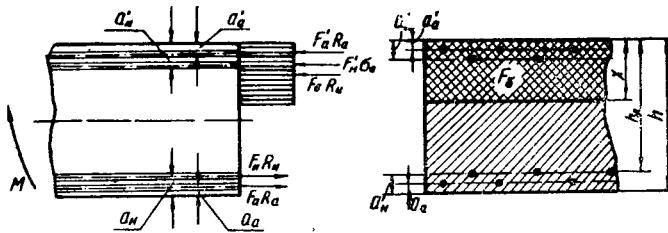


Рис. 4—22. Схема для расчета плиты с предварительно напряженной арматурой

Положение нейтральной оси  $x$  определяется из уравнения

$$F_h R_h - \sigma'_c F'_h + R_a F_a - R_a F'_a = R_h b x, \quad (4-59)$$

где  $\sigma'_c = R'_h - \sigma'_h$  — расчетное напряжение в арматуре  $F'_h$ , расположенной в сжатой зоне;

$R'_h$ ,  $R_h$  — расчетные сопротивления напряженной арматуры в сжатой и растянутой зонах;

$\sigma'_h$  — предварительное напряжение арматуры сжатой зоны;

$S_h$  — статический момент площади сечения арматуры  $F'_h$  относительно равнодействующей усилий в нижней арматуре;

$F'_h$ ,  $F_h$  — площади сечения напряженной арматуры в сжатой и растянутой зонах;

$b$  — ширина плиты.

Основные обозначения приведены выше и показаны на рис. 4—22.

Кроме расчета железобетонных плит на прочность, их рекомендуется проверять на трещиностойкость. Необходимость такой проверки вызывается динамическим характером повторных внешних нагрузок, особенностями влажностно-теплового режима, а также агрессивностью многих грунтовых и поверхностных вод. Расчеты плит на трещиностойкость производятся по НИТУ 123—55 [37, 38].

#### 4—5. ПОКРЫТИЯ ЗИМНИХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Автомобильные дороги, предназначенные для вывозки леса в зимнее время, устраиваются в зависимости от климатических условий из снега или льда. По форме проезжей части они бывают: *сплошные* (только снежные), *колейные*.

По виду материала, использованного при их постройке: *снежные*, *льдяные*, *снежно-льдяные*.

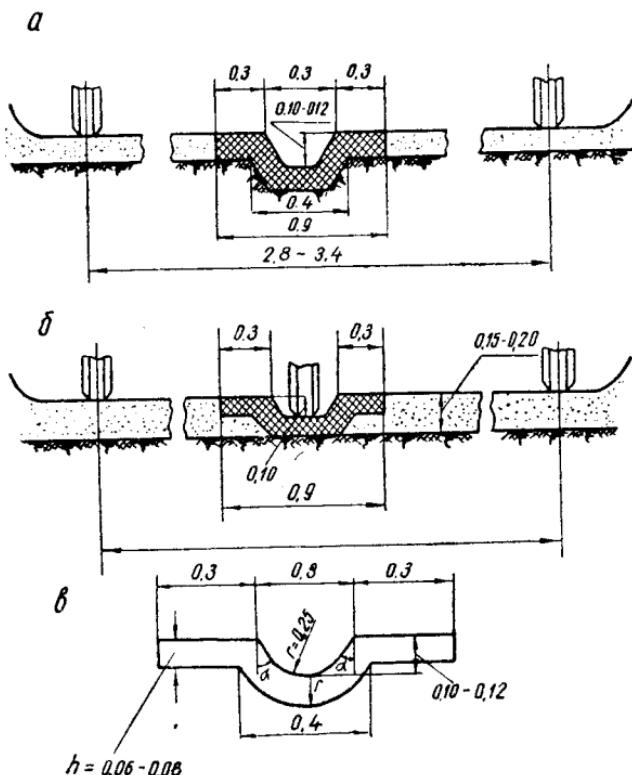


Рис. 4—23. Устройство ледяной колеи:  
α — в грунте; β — в снегу; γ — поперечный профиль ледяной колеи (размеры в метрах)

Покрытия снежных автомобильных лесовозных дорог строятся из уплотненного снега. Дорога пригодна для эксплуатации после достижения плотности 400—600 кг/м<sup>3</sup>, что соответствует несущей способности снега 0,5—0,8 Мн/м<sup>2</sup>. Толщина уплотненного снежного слоя должна быть 15—20 см.

Ледяная (рис. 4—23, а) и снежно-ледяная (рис. 4—23, б) дороги устраиваются, как правило, колейными [30]. Толщину ледяного покрытия к началу эксплуатации по условиям его прочности необходимо иметь в пределах 5—6 см, а затем в процессе работы дороги толщина ледяного покрытия увеличивается до 15—20 см.

Зимняя трасса автомобильных лесовозных дорог часто пересекает озера и реки. Переправы через реки и озера могут быть устроены по естественному льду или по льду, усиленному различного рода укреплениями (настил, намораживания и т. д.).

Толщина льда, обеспечивающая безопасное движение автомобилей без укреплений, в зависимости от структуры и прочности его определяется по формуле профессора М. М. Корунова:

$$h = 10 \sqrt{\frac{Pn}{K}} \text{ см}, \quad (4-60)$$

где  $P$  — вес автомобиля с грузом, кн;

$n$  — поправочный коэффициент, принимаемый по табл. 4—17;

$K$  — коэффициент учета температуры воздуха

$$K = 1 - 0,05A,$$

$A$  — число дней оттепели.

Таблица 4—17

Тип льда	Разрушающее напряжение льда на изгиб, Мн/м <sup>2</sup>	Коэффициент $n$
Зернисто-шуговой, состоящий из льдин . . . . .	0,5	0,48
Кристально прозрачный с полыми вертикальными трубочками значительного диаметра . . . . .	1,2	0,20
То же, с трубочками небольшой длины и диаметра . . . . .	1,7	0,14
Лед, намерзший с нижних слоев, прозрачный слоистый . . . . .	2,5	0,10
Лед кристально прозрачный, без включений, с наличием единичных пузырьков . . . . .	3,8	0,06

Численное значение необходимой толщины льда (*см*) ориентировочно равно:

под одиночные автомобили типа ЗИЛ . . . . .	35
под автопоезда на базе автомобиля ЗИЛ . . . . .	50
под автопоезда на базе автомобиля МАЗ . . . . .	60
под автопоезда на базе автомобиля КрАЗ . . . . .	70

Допускаемый вес единицы подвижного состава при известной толщине льда (*h, см*) определяется из выражения

$$P = \frac{h^2 k}{100 n} \text{ кн.} \quad (4-61)$$

Минимальное расстояние между автопоездами, а также между двумя полосами движения, по данным профессора С. А. Бернштейна [41], равно

$$l = 1,6 \sqrt{Q} \text{ м,} \quad (4-62)$$

где *Q* — вес автомобильного поезда, *кн*.

Скорость образования льда после ледостава характеризуется формулой

$$h = \sqrt{h_0^2 + m \Sigma t_b} \text{ см,} \quad (4-63)$$

где *h<sub>0</sub>* — начальная толщина льда, *см*;

*m* — коэффициент, для рек равный 4, для озер — 5;

*t<sub>b</sub>* — ожидаемая среднесуточная температура за рассчитываемый период, а продолжительность наращивания льда в пределах от *h<sub>0</sub>* до *h* определяется из выражения

$$T = \frac{h^2 - h_0^2}{m t_b} \text{ суток.} \quad (4-64)$$

Подробное изложение расчетов и проектирования зимних автомобильных лесовозных дорог приведено в работах [14, 30, 41].

#### 4-6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Пример 18.** Грунт, взятый на трассе автомобильной лесовозной дороги, характеризуется следующим составом: песчаных фракций 38, пылеватых фракций 32, глинистых 30 %.

В карьерном грунте содержится 90 % песчано-гравелистых фракций, 8 % пылеватых, 2 % глинистых. Определить количество карьерного грунта, необходимое для укрепления 1 км проезжей части при ширине ее *b* = 6 м и толщине укрепляемого слоя *h* = 0,12 м.

**Решение.** По формуле (1) определяем процент добавок карьерного грунта

$$P = \frac{100(62 - 35)}{62 - 10} = 52 \text{ %.}$$

Потребное количество карьерного грунта на 1 км дороги, принимая коэффициент уплотнения  $\beta = 1,2$ , отношение объемных

масс дорожного и карьерного грунта  $b_1:b_2 = 0,9$ , определится по формуле (5):

$$Q = 6,0 \cdot 120 \cdot 0,52 \cdot 1,2 \cdot 0,9 = 405 \text{ м}^3.$$

Таким образом, для укрепления 1 км автомобильной дороги, отсыпанной из суглинистого грунта заданного состава, необходимо добавить 405 м<sup>3</sup> карьерного грунта.

**Пример 19.** Для постройки гравийной лесовозной дороги длиной 30 км изыскано 3 карьера. Карьер № 1 находится в стороне от дороги (ПК 20 + 50) на расстоянии 2 км, карьер № 2 примыкает непосредственно к дороге (ПК 120), карьер № 3 расположен от дороги (ПК 226 + 40) на расстоянии 5 км. Стоимость разработки (добычи) гравия в карьерах составляет: № 1—0,28 руб/м<sup>3</sup>; № 2—0,30 руб/м<sup>3</sup>; № 3—0,30 руб/м<sup>3</sup>. Стоимость перевозки 1 м<sup>3</sup> гравия на расстояние 1 км по дороге 8 коп., по подъездным путям к карьеру № 1—13 коп., к карьеру № 3—12 коп.

Определить целесообразные зоны снабжения гравием из каждого карьера, используя аналитический и графические методы расчета [72].

**Решение.** 1. Составим уравнение стоимости транспортировки гравия. Очевидно оно будет иметь вид

$$C = a + t' l_{\pi} + t'' x,$$

где  $a$  — затраты на 1 м<sup>3</sup> гравия, не зависящие от расстояния транспортировки:

для карьера № 1  $a_1 = 0,28 \text{ руб/м}^3$ ;

для карьера № 2  $a_2 = 0,30 \text{ руб/м}^3$ ;

для карьера № 3  $a_3 = 0,30 \text{ руб/м}^3$ ;

$t'$  — стоимость транспортировки 1 м<sup>3</sup> гравия на расстояние 1 км по подъездным путям:

для первого карьера  $t'_1 = 0,13 \text{ руб/м}^3 \cdot \text{км}$ ;

для второго карьера  $t'_2 = 0$ ;

для третьего карьера  $t'_3 = 0,12 \text{ руб/м}^3 \cdot \text{км}$ ;

$l_{\pi}$  — длина подъездных путей:  $l_{\pi 1} = 2 \text{ км}$ ,  $l_{\pi 3} = 5 \text{ км}$ ;

$t''$  — стоимость транспортировки 1 м<sup>3</sup> гравия на расстояние 1 км по дороге, в нашем примере  $t'' = 0,08 \text{ руб/м}^3 \cdot \text{км}$ ;

$x$  — расстояние транспортировки гравия по дороге (переменное).

Подставляя численное значение входящих в уравнение коэффициентов, получим:

для карьера № 1  $C_1 = 0,28 + 2 \cdot 0,13 + 0,08x = 0,54 + 0,08x$ ;

для карьера № 2  $C_2 = 0,30 + 0 + 0,08x = 0,30 + 0,08x$ ;

для карьера № 3  $C_3 = 0,30 + 5 \cdot 0,12 + 0,08x = 0,90 + 0,08x$ .

2. Для определения границы между карьерами № 1 и 2 приравняем  $C_1 = C_2$  и составим дополнительное уравнение

$$l_1 + l_2 = L_{1-2},$$

где  $L_{1-2} = 9,95$  км — расстояние между карьерами № 1 и 2 по дороге;

$l_1, l_2$  — обозначены на рис. 4—24.

Далее запишем  $0,54 + 0,08l_1 = 0,30 + 0,08l_2$ ;  $l_1 + l_2 = 9,95$ , откуда, решая систему уравнений, получим:  $l_1 = 3,48$  км,  $l_2 = 6,47$  км.

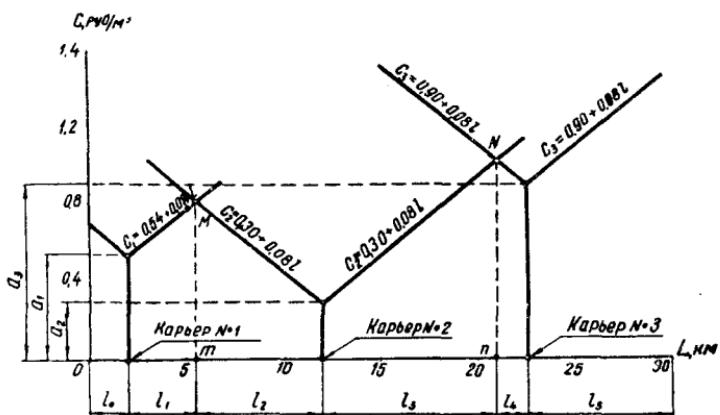


Рис. 4—24. Графическое определение дальности возки карьерных материалов

3. Для определения границы между карьерами № 2 и № 3 приравняем  $C_2$  и  $C_3$  и составим дополнительно уравнение

$$l_2 + l_3 = L_{2-3},$$

где  $L_{2-3} = 1,064$  км — расстояние по дороге между карьером № 2 и точкой примыкания подъездного пути от карьера № 3.

Система уравнений получится в виде

$$\begin{aligned} 0,30 + 0,08l_3 &= 0,90 + 0,08l_4; \\ l_3 + l_4 &= 10,64. \end{aligned} \quad \left. \right\}$$

Решая эту систему, будем иметь:  $l_3 = 9,07$  км;  $l_4 = 1,57$  км.

4. Для графического решения поставленной задачи используем прямоугольную систему координат (рис. 24). По оси абсцисс отложим длину дороги  $L$ , а по оси ординат — стоимость 1 м<sup>3</sup> гравия  $C$ . В точках примыкания подъездных путей к дороге ( $ПК 20 + 50$ ,  $ПК 120$ ,  $ПК 226 + 40$ ) откладываем стоимость гравийного материала при выезде на дорогу (0,54, 0,30, 0,90), затем от каждого полученного отрезка влево и вправо строим наклонные линии, характеризующие прирост стоимости по мере увеличения дальности перевозки по дороге.

Пересечения линий двух смежных карьеров ( $M$ ,  $N$ ) дают возможность определить положение предельных расстояний транспортировки гравия из карьера. Так, например, из рис. 24

видно, что из карьера № 2 влево целесообразно транспортировать гравий до точки  $m$  на расстояние  $l_2 = 6,47 \text{ км}$ , а вправо — до точки  $n$  на расстояние  $l_3 = 9,07 \text{ км}$ .

**Пример 20.** Суточный грузооборот автомобильной лесовозной дороги  $Q = 800 \text{ м}^3$ . Рейсовая нагрузка автомобиля МАЗ-501 с прицепом-роспуском 2-Р-15 равна  $20 \text{ м}^3$ . Определить необходимую прочность щебеночной дороги с двухполосной проезжей частью.

**Решение.** Определим суточную интенсивность движения по формуле (11), приняв коэффициент влияния прицепов равным 2,33:

$$N_{\text{сут}} = \frac{2 \cdot 800 \cdot 2,33}{20} = 186 \text{ автомобилей.}$$

Для щебеночной двухполосной проезжей части имеем коэффициент, учитывающий повторимость нагрузки  $\gamma = 1,0$ , коэффициент запаса на неоднородность условий работы покрытия  $\mu = 1,0$  и допускаемую относительную деформацию  $\lambda = 0,05$ .

Необходимая прочность дороги, характеризуемая требуемым модулем деформации, вычисленная по формуле (12), будет равна

$$E_{\text{тр}} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1}{2 \cdot 0,05} (0,5 + 0,65 \lg 186) = \\ = 37100 \text{ кН/м}^2 = 37,1 \text{ МН/м}^2.$$

**Пример 21.** Лесовозная дорога с требуемым модулем деформации  $30 \text{ МН/м}^2$  строится на территории БССР, относящейся ко II дорожно-климатической зоне. Гравийное покрытие дороги

укладывается непосредственно на земляное полотно из суглинистого грунта. По характеру и степени увлажнения местность относится к типу I, а высота насыпи соответствует требованиям НИТУ.

Определить толщину однослоиного гравийного покрытия для расчетного автомобиля Н-13.

**Решение.** 1. По табл. 4 для условий, заданных в примере, устанавливаем модуль деформации грунта  $E_0 = 11 \text{ МН/м}^2$ .

2. На основании данных табл. 5 принимаем модуль деформации гравия  $E_1 = 100 \text{ МН/м}^2$ , а из табл. 3 берем значения диаметра круга, равновеликого площади отпечатка спаренного колеса  $D = 0,34 \text{ м}$ .

3. Дальнейший расчет покрытия (рис. 4—25) ведем по nomogramme рис. 8.

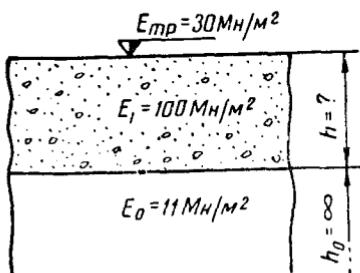


Рис. 4—25. Расчетная схема однослойного покрытия

Приравнивая  $E_{\text{экв}} = E_{\text{тр}}$ , вычисляем отношения:

$$\frac{E_0}{E_1} = \frac{11}{100} = 0,11 \text{ и } \frac{E_{\text{экв}}}{E_1} = \frac{E_{\text{тр}}}{E_1} = \frac{30}{100} = 0,3.$$

По оси ординат откладываем значение 0,11 и проводим горизонталь до встречи с кривой 0,3. Точку пересечения горизонтали с кривой проектируем на ось абсцисс и получаем значение  $\frac{h}{D} = 0,735$ , откуда  $h = 0,735 \cdot D = 0,735 \times 0,34 = 0,25 \text{ м.}$

**Пример 22.** Проектируемая дорога с годовым грузооборотом  $Q_{\text{год}} = 100 \text{ тыс. } m^3$  и расчетным суточным грузооборотом  $Q_{\text{сут}} = 380 \text{ } m^3$  расположена во II дорожно-климатической зоне. Земляное полотно шириной  $B = 8 \text{ м}$  отсыпано из мелкой супеси и возвышается над местностью на 0,6—0,8 м. Местность сухая, без избыточного увлажнения. Вывозка леса предусматривается автомобилями ЗИЛ-164 с прицепами-роспусками 1-Р-8.

Рассчитать дорожное покрытие, состоящее из двух слоев — нижнего песчаного ( $E_2 = 25 \text{ } Mn/m^2$ ), верхнего гравийного ( $E_1 = 70 \text{ } Mn/m^2$ ).

**Решение.** 1. Определяем расчетную интенсивность на дороге. При суточном грузообороте  $Q_{\text{сут}} = 380 \text{ } m^3$  и рейсовой нагрузке  $Q_p = 14 \text{ } m^3$  она будет равна

$$N_{\text{сут}} = \frac{2 \cdot 380 \cdot 1,67}{14} = 91 \frac{\text{автомобиль}}{\text{сутки}},$$

где коэффициент 1,67 учитывает влияние одноосного прицепа-роспуска 1-Р-8.

2. Требуемый модуль деформации дороги вычислим по формуле (12), приняв  $\lambda = 0,06$ :

$$E_{\text{тр}} = \frac{3,14 \cdot 440}{2 \cdot 0,06} (0,5 + 0,65 \lg 91) = 20,4 \text{ } Mn/m^2.$$

3. Модуль деформации основания табл. 4 для условий II климатической зоны при супесчаных грунтах, сухой местности и высоте насыпи 0,6—0,8 м равен  $E_0 = 12 \text{ } Mn/m^2$ .

4. Задаемся толщиной нижнего слоя покрытия  $h_1 = 15 \text{ см}$  и вычислим отношения:

$$\frac{E_0}{E_1} = \frac{12}{25} = 0,48 \text{ и } \frac{h_1}{D} = \frac{15}{29,5} = 0,51.$$

По номограмме (рис. 8) находим пересечение горизонтальной линии с ординатой 0,48 и вертикальной линии с абсциссой 0,51.

Точка пересечения совпадает с кривой  $\frac{E_{\text{экв}}}{E_1} = 0,635$ .

Из последнего соотношения находим:

$$E'_{\text{экв}} = 0,635; E_1 = 0,635 \cdot 25 = 15,8 \text{ } Mn/m^2.$$

Таким образом, эквивалентный модуль деформации на поверхности песчаного слоя будет равен  $E'_{\text{экв}} = 15,8 \text{ } Mn/m^2$ .

5. Зная  $E'_{\text{экв}}$ , а также требуемый модуль деформации до-

рого  $E_{tp}$ , по номограмме (рис. 8) находим отношение  $\frac{h}{D}$ , а по нему — величину  $h_2$ .

Произведем расчет, используя данные примера.

Вычислим отношения:

$$\frac{\frac{E'}{E_{\text{экв}}}}{E_2} = \frac{15,8}{70} = 0,23 \quad \text{и} \quad \frac{E_{tp}}{E_2} = \frac{20,4}{70} = 0,29.$$

По оси ординат (рис. 8) откладываем значение 0,23 и проводим до кривой, на которой значится цифра 0,29. Абсцисса точки пересечения соответствует отношению  $\frac{h_2}{D} = 0,25$ . Отсюда находим толщину второго слоя покрытия:

$$h_2 = 0,26 \cdot D = 0,26 \cdot 29,5 = 7,7 \text{ см} = 8 \text{ см}.$$

**Пример 23.** Железобетонная дорожная плита с размерами  $0,15 \times 1,0 \times 2,5 \text{ м}$  и с модулем упругости  $E_1 = 2,7 \cdot 10^4 \text{ Мн/м}^2$  уложена на грунтовое основание, модуль деформации которого  $E_0 = 20 \text{ Мн/м}^2$ . Расчетная сосредоточенная нагрузка  $P = 50 \text{ кН}$  приложена на середине плиты.

Определить величину изгибающего момента в плите, воспользовавшись теорией профессора М. И. Горбунова-Посадова.

**Решение.** 1. Проверяем возможность расчета плиты по схеме балки на упругом основании. Для этого вычисляем по формуле (32) соотношение сторон

$$\alpha = \frac{a}{b} = \frac{1,25}{0,5} = 2,5,$$

так как  $\alpha < 7$ , то расчет по схеме балки производить нельзя.

2. Рассмотрим плиту как полосу на упругом основании и вычислим показатель гибкости по формуле (23)

$$t = 10 \cdot \frac{20}{27000} \cdot \frac{1,25^3}{0,15^3} = 4,3.$$

Полученное значение показателя гибкости удовлетворяет условию  $1 < t < 10$ , а следовательно, рассматриваемую плиту следует отнести к короткой.

3. Изгибающий момент в короткой плите определим по формуле (26), а входящую в формулу безразмерную ординату  $M = 0,25$  возьмем из табл. 11 при  $t = 5$  (ближайшем к полученному по расчету). Подставляя численное значение входящих в формулу величин, получим искомое значение изгибающего момента

$$M = 0,25 \cdot 1,25 \cdot 50 = 15,6 \text{ кнм}.$$

**Пример 24.** Колейное покрытие автомобильной дороги построено из плит, размер которых  $0,14 \times 1,0 \times 3,0 \text{ м}$ . Модуль деформации основания  $E_0 = 15 \text{ Мн/м}^2$ , модуль упругости плиты  $E_1 = 3 \cdot 10^4 \text{ Мн/м}^2$ . Расчетный автомобиль ЗИЛ-164.

Применяя метод О. Я. Шехтер, построить эпюры прогибов,

изгибающих моментов, перерезывающих и реактивных сил при условии положения наиболее тяжелой оси автомобиля на середине плиты.

**Решение.** 1. По технической характеристике автомобиля устанавливаем расчетную нагрузку на плиту

$$P = \frac{P_{oc}}{2} = \frac{61\ 500}{2} = 3075,0 \text{ кн} = 30,75 \text{ кн},$$

где  $P_{oc}$  — максимальная осевая нагрузка автомобиля.

2. По формуле (16) вычисляем упругую характеристику плиты

$$L = 0,14 \sqrt[3]{\frac{30\ 000(1 - 0,36^2)}{6 \cdot 15(1 - 0,15^2)}} = 0,94 \text{ м.}$$

При этом коэффициенты Пуассона принимаем равными: для грунта  $\mu_0 = 0,36$ , а для бетона  $\mu_1 = 0,15$ .

3. Вычисляя приведенные расстояния по формуле (17), принимая ординаты эпюор расчетных характеристик из табл. 10 и используя переводные формулы (18—21), расчет плиты сведем в табл. 4—18.

По данным этой таблицы строим эпюры расчетных характеристик (рис. 4—26). В рассмотренном примере внешняя нагрузка  $P$  сосредоточена в одной точке. В действительности же нагрузка от автомобильного колеса передается через площадку конечной величины. Проектируя эту площадку на эпюры  $Q$  и  $M$ , можно внести корректировки в их форму и величину. От бесконечных величин, как показано на рис. 26, перейти к конечным величинам.

**Пример 25.** Определить несущую способность железобетонной плиты, поперечное сечение которой представлено на

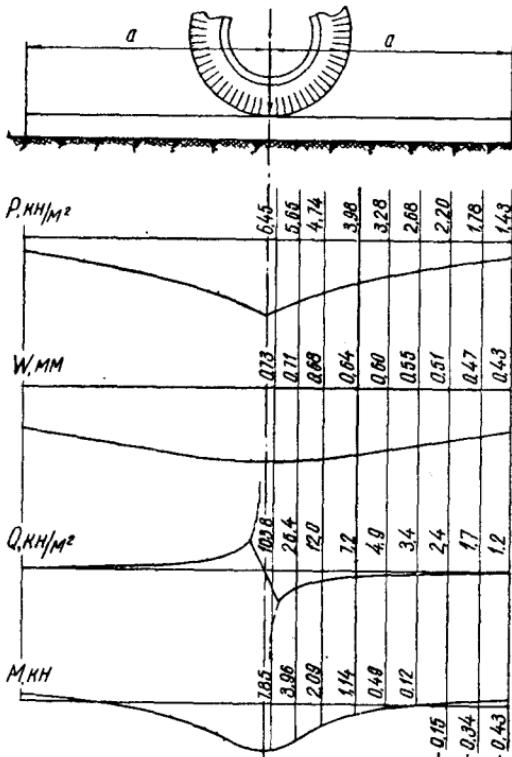


Рис. 4—26. Эпюры расчетных характеристик железобетонной плиты  $0,14 \times 1,0 \times 3,0$  при  $P = 31 \text{ кн}$

Таблица 4—18

Расстояние от места приложения силы до рассматриваемой точки $\rho = \frac{r}{L}$	Приведенное расстояние $r$	Безразмерные ординаты				Действительные ординаты			
		$\bar{P}$	$\bar{W}$	$\bar{Q}_p$	$\bar{M}_r$	$P, \text{кН}/\text{м}^2$	$W, \text{мм}$	$Q, \text{кН}/\text{м}^2$	$M_r, \text{кН}$
0,047	0,05	0,185	0,384	3,178	0,256	6,45	0,73	103,8	7,85
0,094	0,1	0,177	0,382	1,582	0,191	6,17	0,72	51,6	5,86
0,188	0,2	0,162	0,377	0,779	0,129	5,65	0,71	25,4	3,96
0,282	0,3	0,149	0,369	0,506	0,093	5,20	0,70	16,5	2,86
0,374	0,4	0,136	0,359	0,367	0,068	4,74	0,68	12,0	2,09
0,564	0,6	0,114	0,338	0,224	0,037	3,98	0,64	7,2	1,14
0,752	0,8	0,094	0,314	0,150	0,016	3,28	0,60	4,9	0,49
0,940	1,0	0,077	0,291	0,105	0,004	2,68	0,55	3,4	0,12
1,130	1,2	0,063	0,268	0,074	— 0,005	2,20	0,51	2,4	— 0,15
1,330	1,4	0,051	0,247	0,053	— 0,011	1,78	0,47	1,7	— 0,34
1,500	1,6	0,041	0,226	0,088	— 0,014	1,43	0,43	1,2	— 0,43

рис. 4—27. Расчетное сопротивление бетона  $R_u = 17 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , арматура круглая горячекатаная из стали марки Ст. 3 с расчет-

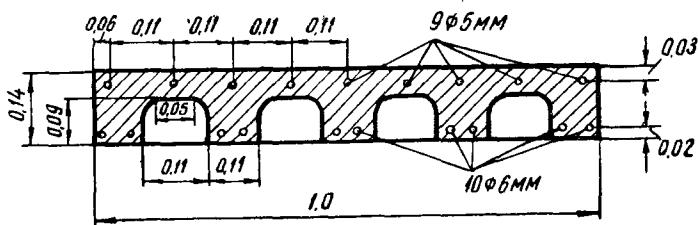


Рис. 4—27. Расчетное сечение железобетонной плиты

ным сопротивлением  $R_a = 210 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Коэффициенты условия работы плиты и арматуры  $m = m_a = 1,0$ .

Решение. 1. Вычисляем площадь сечения арматуры:

верхняя  $F'_a = \frac{\pi d^2}{4} n = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} \cdot 9 = 1,77 \text{ см}^2$ ;

нижняя  $F_a = \frac{\pi d^2}{4} n = \frac{3,14 \cdot 0,6^2}{4} \cdot 10 = 2,83 \text{ см}^2$ ;

общая  $F_{\text{общ}} = F_a + F'_a = 2,83 + 1,77 = 4,6 \text{ см}^2$ .

Площадь поперечного сечения бетона, по данным рис. 27, равна  $F_b = 0,05 \cdot 1,0 + 0,09 \cdot 0,11 \cdot 5 + 0,5 \cdot 0,03 \cdot 0,03 \cdot 8 = 0,103 \text{ м}^2$ .

Определим процент формирования плиты

$$\mu = \frac{F_{\text{общ}} \cdot 100}{F_b} = \frac{0,00046 \cdot 100}{0,103} = 0,45 \%$$

Как видно, он находится в пределах нормы.

3. По формуле (49) вычислим высоту сжатой зоны

$$x = \frac{R_a F_a - R_a F'_a}{R_u b} = \frac{210 \cdot 0,000283 - 210 \cdot 0,000177}{17 \cdot 1} = 0,001 \text{ м.}$$

4. Известно [37, 70], что при  $x < 2a'$  несущая способность плиты вычисляется по формуле (55), и поэтому получим

$$M = m m_a F_a R_a (h_0 - a') = 0,000283 \cdot 210 (0,12 - 0,03) = \\ = 0,00535 \text{ Мнм} = 5,35 \text{ кнм.}$$

**Пример 26.** Рассчитать на прочность железобетонную плиту с размерами  $2,5 \times 1,0 \times 0,16 \text{ м}$ , если известно, что внешняя нагрузка автомобиля МАЗ-200  $P = 48,8 \text{ кн}$ , бетон марки 300, арматура из Ст. 3 горячекатаная с силовой калибровкой, диаметром 7 и 10 мм применена в виде сварных каркасов, защитный слой для нижней арматуры — 1,5 см, для верхней — 2,0 см, а модуль деформации грунта  $E_0 = 15 \text{ Мн/м}^2$ .

Решение. 1. Определяем показатель гибкости  $t$  плиты:

$$t = 10 \frac{E_0}{E_1} \cdot \frac{a^3}{h^3} = 10 \frac{15}{2,7 \cdot 10^4} \cdot \frac{1,25^3}{0,16^3} = 2,7.$$

2. При  $1 < t < 10$  плита может рассчитываться как короткая полоса.

3. Из табл. 11 при  $t = 3$  берем значение ординаты безразмерной эпюры изгибающего момента  $\bar{M} = 0,27$  и по формуле перехода от безразмерных величин к действительным (31) при коэффициенте динамичности  $K_d = 1,20$  получим

$$M = \bar{M} Q P = 0,27 \cdot 1,25 \cdot 48,8 \cdot 1,20 = 19,8 \text{ кнм.}$$

4. Устанавливаем из табл. 15 значение расчетного сопротивления арматуры  $R_a = 210 \text{ Мн/м}^2$ .

5. Вычисляем по формуле (56) площадь арматуры в нижней зоне

$$F_a = \frac{M}{m m_a R_a (h_0 - a')} = \frac{19,8}{1 \cdot 1 \cdot 210 \cdot 000 (0,14 - 0,02)} = 0,00078 \text{ м}^2 = \\ = 7,8 \text{ см}^2.$$

Принимаем 10 стержней диаметром 10 мм, что соответствует площади  $F_a = 7,85 \text{ см}^2$ . Под действием движущихся колес автомобиля в плите возникают как положительные, так и отрицательные изгибающие моменты. При наличии отрицательных моментов плиту необходимо армировать и в верхней зоне. На-

значаем арматуру в верхней зоне конструктивно в количестве 50% от нижней, т. е.

$$F'_a = 0,5 F_a = 0,5 \cdot 7,85 = 3,9 \text{ см}^2.$$

Принимаем в верхней зоне 10 стержней диаметром 7 мм, что обеспечивает площадь  $F'_a = 3,85 \text{ см}^2$ .

### 6. Определим процент армирования

$$\mu = \frac{(F_a + F'_a) 100}{bh_0} = \frac{(7,85 + 3,85) 100}{100 \cdot 14} = 0,84\%.$$

Ввиду того, что сечение плиты является сплошным, проверку ее прочности на скальвание можно не производить.

**Пример 27.** В железобетонной плите прямоугольного сечения (размер  $3,0 \times 1,0 \times 0,15 \text{ м}$ ) изгибающий момент от нормативной нагрузки  $M^u = 13,2 \text{ кНм}$ . Плита армирована в верхней и нижней зонах, арматура горячекатаная из стали марки Ст. 3, площадь сечения  $F_a = F'_a = 5 \text{ см}^2$ . Расстояние между осями верхней и нижней арматуры  $Z = 11 \text{ см}$ , марка бетона 300. Определить ширину раскрытия трещины и расстояние между трещинами.

**Решение.** 1. Расстояние между трещинами для дорожных плит определяется по формуле

$$l_t = K_1 n u \text{ см},$$

где  $K_1$  — коэффициент, определяемый по НиТУ 123—55 [37] в зависимости от

$$\alpha = 3 \frac{F_a}{bh_0} n; \quad n = \frac{E_a}{E_6}; \quad u = \frac{F_a}{S},$$

где  $F_a$  — площадь сечения растянутой арматуры  $5 \text{ см}^2$ ;

$b$  — ширина плиты  $100 \text{ см}$ ;

$h_0$  — рабочая высота плиты  $13,5 \text{ см}$ ;

$E_a$  — модуль упругости арматуры  $2,1 \cdot 10^5 \text{ МН/м}^2$ ;

$E_6$  — модуль упругости бетона  $2,7 \cdot 10^4 \text{ МН/м}^2$ ;

$S$  — периметр сечения арматуры, при  $F = 5 \text{ см}^2$  и диаметре проволоки  $d = 0,9 \text{ см}$ , равный  $6,5 \text{ см}$ .

Вычислим значение величин:

$$\alpha = 3 \frac{5 \cdot 2,1 \cdot 10^5}{100 \cdot 13,5 \cdot 2,7 \cdot 10^4} = 0,08; \quad n = \frac{2,1 \cdot 10^5}{2,7 \cdot 10^4} = 7,8; \quad u = \frac{5,0}{6,5} = 0,77.$$

При  $\alpha = 0,08$  по НиТУ 123—55 находим, что  $K_1 = 14$ . Численное значение расстояний между трещинами будет равно

$$l_t = 14 \cdot 7,8 \cdot 0,77 = 84 \text{ см}.$$

### 2. Напряжение в арматуре при изгибе плиты

$$\sigma_a = \frac{M}{F_a Z} = \frac{0,0132}{0,0005 \cdot 0,11} = 240 \text{ МН/м}^2.$$

### 3. Ширина раскрытия трещин

$$Q_t = \psi \frac{\sigma_a}{E_a} l_t = 0,6 \frac{240}{2,1 \cdot 10^5} \cdot 0,84 \cdot 1000 = 0,57 \text{ мм},$$

где  $\psi$  — коэффициент, в зависимости от величины  $a_a$  и  $\alpha$  определяется по НИТУ 123—55.

Полученное значение  $a_t = 0,57 \text{ мм}$  больше допускаемой величины ( $0,2 \text{ мм}$ ), а поэтому необходимо увеличить сечение арматуры в растянутой зоне и произвести повторный расчет.

4. Принимая  $F_a = 5,72 \text{ см}^2$  и производя расчет в рассмотренном выше порядке, получим  $l_t = 20,6 \text{ см}$  и  $a_t = 0,13 \text{ мм}$ , что соответствует нормативным требованиям.

**Пример 28.** На реке Ш, имеющей быстрое течение, ледостав начался 1 ноября. Среднесуточная температура по прогнозу на ноябрь и декабрь  $t_{cp} = -17^\circ$ . Определить дату возможного начала переправы по льду автомобильных поездов (МАЗ-501 + 1-РО-12) с номинальной рейсовой нагрузкой.

**Решение.** 1. Определим общий вес груженого поезда МАЗ-501 + 1-РО-12:

полный вес автомобиля МАЗ-501 . . . . .	125,6 кн
полный вес распуска 1-РО-12 . . . . .	134,6 кн

Всего . . . . .  $P = 260,2 \text{ кн}$ .

2. Необходимая толщина льда, намерзшего с нижних слоев, вычисляется по формуле

$$h = 10\sqrt{Pn} = 10\sqrt{260,2 \cdot 0,1} = 51 \text{ см},$$

где  $n$  — поправочный коэффициент для прозрачного слоистого льда (табл. 17).

3. Время, в течение которого будет наращена расчетная толщина льда, определится из выражения (63):

$$T = \frac{h^2}{4t_{cp}} = \frac{51^2}{4 \cdot 17} = 38 \text{ дней.}$$

Таким образом, 9 декабря лед будет обладать достаточной прочностью, и по нему будет возможна переправа груженых автомобильных поездов.

Перед пуском переправы необходимо всегда произвести детальное ее обследование и измерить фактическую глубину льда вдоль намечаемой трасы.

#### 4—7. ЗАДАЧИ

167. Определить процент добавок карьерного грунта в оптимальной смеси, содержащей 35% пылеватых и глинистых фракций, если дорожный грунт имеет глинистых фракций 28, пылеватых 35, песчаных 37%, а карьерный — соответственно 2, 11, 87%.

168. Мелкозернистые фракции в местном грунте составляют 60, а в привозном 10%. Какой процент привозного грунта необходимо ввести в местный грунт, чтобы снизить количество мелкозернистых фракций до 30%?

169. В местном грунте песчаные фракции составляют 30%, пылеватые — 50 и глинистые — 20%. Вычислить предельно допускаемое количество глинистых и пылеватых частиц в карьерном грунте, добавка 60% которого в местный грунт позволит получить оптимальную смесь.

170. Песчаный грунт по трассе грунтовой автомобильной лесовозной дороги содержит 10% мелкозернистых фракций. Определить необходимый процент добавки суглинка, мелкозернистые фракции которого составляют 50%.

171. Грунт *A*, содержащий песчаных фракций 80, пылеватых 15 и глинистых 5% в пропорции 3:2 смешивается с грунтом *B*, в котором содержится песчаных фракций 40, пылеватых 40, глинистых 20%.

Определить в смеси содержание мелкозернистых фракций.

172. Земляное полотно отсыпано из грунта, число пластичности которого  $S = 15$ . Для получения оптимальной смеси в дорожный грунт добавлено 40% карьерного грунта с числом пластичности  $S_1 = 0$ .

Определить число пластичности полученной смеси.

173. Начертить равносторонний треугольник и нанести на него грунты, характеризующиеся следующими составами:

Грунт	Процентное содержание фракций		
	песчаных	пылеватых	глинистых
<i>A</i>	10	50	40
<i>B</i>	30	20	50
<i>V</i>	50	35	15
<i>G</i>	50	15	35

174. Определить процентное содержание песчаной, пылеватой и глинистой фракций грунтов, обозначенных на равностороннем треугольнике (рис. 4—28) буквами *a*, *b*, *v*, *g*, *d*, *e*.

175. Изобразить в треугольных координатах гранулометрический состав основных типов грунтов: песка, супеси, суглинка и глины; обозначить зону оптимальных грунтов.

176. Графоаналитическим способом установить минимальное количество карьерных добавок, необходимое для получения оптимальной грунтовой смеси, если дорожный грунт содержит 20% глинистых фракций, 56% пылеватых и 24% песчаных, а карьерный грунт — соответственно 3, 10, 87%.

177. Определить количество карьерного грунта, необходимое для улучшения 1 км автомобильной дороги, ширина проезжей части которой  $b = 6$  м и толщина улучшаемого слоя  $h = 0,15$  м,

если объемная масса местного грунта  $\delta_1 = 1,7$ , привозного  $\delta_2 = 1,8$ , а карьерные добавки составляют  $p = 35\%$ .

178. Местный суглинистый грунт, содержащий 14% глинистых фракций, 38% пылеватых и 48% песчаных, улучшен до оптимальной смеси добавками грунта из карьера. В составе карьерного грунта 78% составляют песчаные фракции, 20% — пылеватые и 2% — глинистые.

Определить, какое количество карьерного грунта необходимо для улучшения 1 км проезжей части, ширина которой  $b = 3,5$  м, а толщина улучшаемого слоя  $h = 12$  см.

179. В районе проектируемой автомобильной дороги имеются два гравийных карьера, расположенных на одинаковом удалении от нее. Зерновые составы гравия этих карьеров на равностороннем треугольнике (рис. 4—29) характеризуются точками А и Б. Определить, в какой пропорции необходимо взять карьерные материалы, для того чтобы получить смесь оптимального гранулометрического состава.

180. Вдоль магистрали автомобильной лесовозной дороги А—Б (рис. 4—30) можно заложить четыре гравийных карьера. Расстояние между карьерами по дороге и длина подъездных путей следующие:

$$\begin{array}{lll} l_1 = 5 \text{ км}; & l_4 = 4 \text{ км}; & l_7 = 1 \text{ км}; \\ l_2 = 8 \text{ км}; & l_5 = 3 \text{ км}; & l_8 = 3 \text{ км}; \\ l_3 = 10 \text{ км}; & l_6 = 2 \text{ км}; & l_9 = 0,5 \text{ км}. \end{array}$$

Стоимость транспортировки 1  $m^3$  гравия на расстояние 1 км по магистрали составляет  $t'' = 8$  коп., по подъездным путям  $t_1 = 10$  коп.;  $t_2 = 12$  коп.;  $t_3 = 15$  коп.;  $t_4 = 11$  коп.

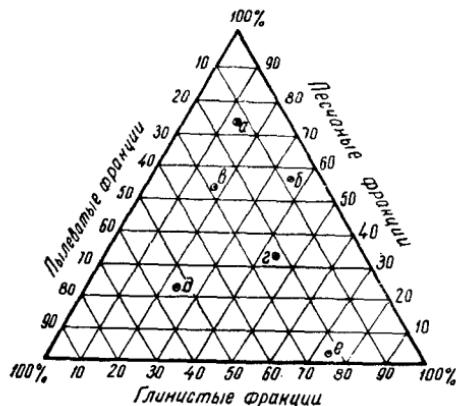


Рис. 4—28. Равносторонний треугольник грунтовых смесей

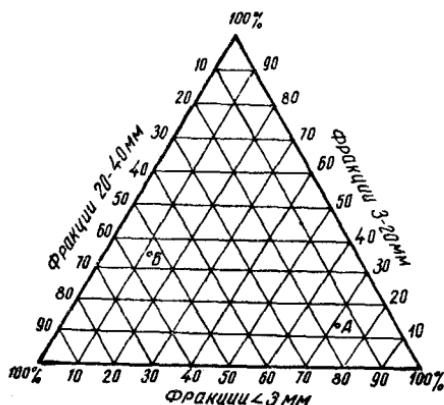


Рис. 4—29. Равносторонний треугольник гравийных смесей

Стоимость разработки и погрузки грунта в карьерах равна:  $a_k = 0,60$  руб.,  $a_d = 0,25$  руб.,  $a_m = 0,43$  руб.,  $a_n = 0,55$  руб.

Определить участки дороги, на которые экономически целесообразно перевозить гравий из карьеров.



Рис. 4—30. Схема размещения карьеров вдоль магистрали

181. Карьер № 1 находится на расстоянии 2 км в стороне от ПК 50 + 30, а карьер № 2 расположен от ПК 143 + 50 на расстоянии 4 км. Стоимость разработки грунта в карьере № 1  $a_1 = 0,48$  руб., а в карьере № 2  $a_2 = 0,35$  руб., стоимость транспортировки 1 м<sup>3</sup> грунта на расстояние 1 км по строящейся дороге  $t'' = 11$  коп., на подъездных путях  $t_1 = 12$  коп.,  $t_2 = 10$  коп.

Определить расстояние по дороге, на которое целесообразно транспортировать грунт из карьера № 1 по направлению к карьеру № 2.

182. Гранулометрический состав карьерных материалов характеризуется следующими данными:

Номера карьеров	Количество частиц (в %), прошедших через сито с отверстиями, в мм						
	40	20	10	5	2,5	0,63	0,05
1	—	—	100	90	80	50	15
2	85	62	45	35	25	8	—

Используя кривые оптимальных смесей [34], определить соотношение, в котором необходимо взять эти материалы, для того чтобы коэффициент сбега смеси был равен 0,9.

183. Определить, какой прочностью должно обладать двухполосное покрытие переходного типа под автомобили МАЗ-501 с прицепами-роспусками 2-Р-15, если годовой грузооборот дороги равен 100 тыс. м<sup>3</sup>, а число дней работы в году  $A = 280$ .

184. Установить графическую зависимость требуемого модуля деформации гравийного покрытия шириной  $b = 6,5$  м от приведенной суточной интенсификации движения автомобилей ЗИЛ-157 с прицепами-роспусками 1-Р-8.

185. Определить приведенную суточную интенсивность движения на дороге, принимая во внимание расчет движения следующих одиночных автомобилей: ЗИЛ-164 — 30, МАЗ-200 — 15, ЗИЛ-157 — 25, ГАЗ-51 — 70 шт.

186. Вычислить расчетную интенсивность движения, приведенную к условному автомобилю Н-13, на дороге с суточным грузооборотом  $Q = 600 \text{ м}^3$ , если для вывозки используются автомобили МАЗ-501 с прицепами-ропусками 2-Р-15, рейсовая нагрузка которых равна  $20 \text{ м}^3$ .

187. По данным суточного грузооборота дороги  $Q_{\text{сут}} = 360 \text{ м}^3$  и рейсовых нагрузок автомобильного поезда (МАЗ-501 + 2-Р-15)  $Q_p = 20 \text{ м}^3$ , вычислить интенсивность движения на дороге.

188. Расчетная интенсивность движения на однопутной автомобильной лесовозной дороге, приведенная к условному автомобилю Н-13, равна  $200 \text{ авт/сутки}$ . Определить требуемый модуль деформации для дороги с гравийным покрытием.

189. Проектируемая автомобильная дорога расположена на территории Белорусской ССР. По трассе дороги преобладают пески пылеватые, гидрологические условия благоприятные, так как поверхностный сток обеспечен. Определить значение модуля деформации грунта для различных конструкций земляного полотна.

190. Построить кривую осадки штампа диаметром  $d = 25 \text{ см}$  и определить модуль деформации грунта на основании следующих опытных данных:

Нагрузка на штамп, $\text{kN}/\text{м}^2$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Осадка штампа, $\text{мм}$	2	4	7	9	12	14	17	20	27	40

191. Определить эквивалентный модуль деформации гравийного покрытия толщиной  $17 \text{ см}$ , если модуль деформации земляного полотна  $E_0 = 10 \text{ Mn/m}^2$ , а гравия  $E_1 = 70 \text{ Mn/m}^2$ .

192. Однослойное грунтобитумное покрытие ( $E_1 = 80 \text{ Mn/m}^2$ ) уложено на земляном полотне, модуль деформации грунта которого  $E_0 = 9,6 \text{ Mn/m}^2$ . При какой толщине покрытия эквивалентный модуль деформации дорожной конструкции будет  $E_{\text{экв}} = 22 \text{ Mn/m}^2$ ?

193. По условиям эксплуатации требуемый модуль деформации автомобильной лесовозной дороги  $E_{\text{тр}} = 28,8 \text{ Mn/m}^2$ , модуль деформации земляного полотна  $E_0 = 15 \text{ Mn/m}^2$ . Определить толщину щебеночного покрытия из каменных материалов 2-го класса.

194. С помощью номограммы (рис. 8) определить толщину

однослоиного покрытия, если модуль деформации грунта  $E_0 = 10 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , модуль деформации материала покрытия  $E_1 = 80 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , а на дороге, грузооборот которой  $Q_{\text{год}} = 150 \text{ тыс. м}^3$ , предусматривается вывозка леса автомобилями-поездами (МАЗ-200 + 2-Р-15).

195. Гравийная лесовозная дорога с годовым грузооборотом  $Q_{\text{год}} = 100 \text{ тыс. м}^3$  запроектирована под автомобили ЗИЛ-164 с роспусками 2-Р-8. Причем известно, что модуль деформации подстилающего грунта  $E_0 = 12 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , а гравийного материала  $E_1 = 70 \text{ Мн}/\text{м}^2$ .

Определить, насколько должна быть увеличена толщина покрытия в связи с переходом на вывозку хлыстов автомобилями МАЗ-500.

196. Запроектировать покрытие гравийной лесовозной дороги, требуемый модуль деформации которой должен быть равен  $20 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , если ширина земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$ , модули деформации грунта  $E_0 = 9 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , гравийного материала  $E_1 = 80 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , а форма поперечного сечения — серповидная, со средним уклоном проезжей части  $i_n = 4\%$ .

197. Укрепление однополосной проезжей части автомобильной лесовозной дороги производится путем введения 8% цемента. Грунты земляного полотна супесчаные с модулем деформации  $E_0 = 12 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Требуемый модуль деформации дороги при использовании автомобилей ЗИЛ-164  $E_{\text{тр}} = 25 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Определить толщину укрепляемого слоя и начертить поперечный профиль корытного покрытия.

198. На рис. 4—31 представлено 12 вариантов дорожного покрытия под нагрузку расчетного автомобиля Н-13. Используя приведенные для каждого варианта данные и расчетные схемы, вычислить величины, которые на рисунке обозначены вопросительными знаками. Начертить поперечные профили покрытий.

199. Двухслойное покрытие из шлака ( $E_2 = 60 \text{ Мн}/\text{м}^2$ ) и песка ( $E_1 = 30 \text{ Мн}/\text{м}^2$ ) уложено на основание, модуль деформации которого  $E_0 = 10 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Модуль деформации дороги, исходя из эксплуатационных требований  $E_{\text{тр}} = 30 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Определить толщину верхнего слоя, если толщина нижнего песчаного слоя известна и равна  $h_1 = 0,25 \text{ м}$ .

200. Для вывозки леса автомобилями МАЗ-501 с прицепом-роспуском 2-Р-15 используется гравийная дорога, эквивалентный модуль деформации покрытия которой  $E_{\text{экв}} = 32 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Определить допускаемую интенсивность движения, которая будет соответствовать фактической прочности покрытия.

201. Запроектировать гравийные покрытия толщиной  $h = 0,25 \text{ м}$  серповидного, корытного, полуторытного и полосного профиля под нагрузку от автомобильного поезда (ЗИЛ-130 + 1-Р-8). Для каждого из них принять ширину земляного полотна  $B = 8 \text{ м}$  и двухпутное движение по проезжей части.

<p>1</p> $\nabla E_{3H\theta} = ?$ $E_2 = 100 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 60 \text{ MN/m}^2$ $E_o = 8 \text{ MN/m}^2$ $h_2 = 8 \text{ CM}$ $h_1 = 12 \text{ CM}$ $h_o = \infty$	<p>2</p> $\nabla E_{3H\theta} = 30 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 120 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 50 \text{ MN/m}^2$ $E_o = 10 \text{ MN/m}^2$ $h_2 = 10 \text{ CM}$ $h_1 = 20 \text{ CM}$ $h_o = \infty$	<p>3</p> $\nabla E_{3H\theta} = 35 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 80 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 25 \text{ MN/m}^2$ $E_o = 12 \text{ MN/m}^2$ $h_2 = ?$ $h_1 = 15 \text{ CM}$ $h_o = \infty$
<p>4</p> $\nabla E_{3H\theta} = 35 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 120 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 70 \text{ MN/m}^2$ $E_o = 14 \text{ MN/m}^2$ $h_2 = ?$ $h_1 = 20 \text{ CM}$ $h_o = \infty$	<p>5</p> $\nabla E_{3H\theta} = 30 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 80 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = ?$ $E_o = 11 \text{ MN/m}^2$ $h_2 = 12 \text{ CM}$ $h_1 = ?$ $h_o = \infty$	<p>6</p> $\nabla E_{3H\theta} = 28 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 80 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = ?$ $E_o = 13 \text{ MN/m}^2$ $h_2 = 10 \text{ CM}$ $h_1 = 15 \text{ CM}$ $h_o = \infty$
<p>7</p> $\nabla E_{3H\theta} = 35 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 90 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 30 \text{ MN/m}^2$ $E_o = 15 \text{ MN/m}^2$ $h_2 = 15 \text{ CM}$ $h_1 = ?$ $h_o = \infty$	<p>8</p> $\nabla E_{3H\theta} = 35 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 90 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 30 \text{ MN/m}^2$ $E_o = 15 \text{ MN/m}^2$ $h_2 = 15 \text{ CM}$ $h_1 = ?$ $h_o = \infty$	<p>9</p> $\nabla E_{3H\theta} = 35 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 100 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 20 \text{ MN/m}^2$ $E_o = ?$ $h_2 = 10 \text{ CM}$ $h_1 = 15 \text{ CM}$ $h_o = \infty$
<p>10</p> $\nabla E_{3H\theta} = 35 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_2 = 110 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 28 \text{ MN/m}^2$ $E_o = ?$ $h_2 = 10 \text{ CM}$ $h_1 = 20 \text{ CM}$ $h_o = \infty$	<p>11</p> $\nabla E_{3H\theta} = ?$ $E_2 = 120 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 30 \text{ MN/m}^2$ $E_o = ?$ $h_2 = 10 \text{ CM}$ $h_1 = 15 \text{ CM}$ $h_o = \infty$	<p>12</p> $\nabla E_{3H\theta} = 50 \text{ MN/m}/\text{m}^2$ $E_3 = 150 \text{ MN/m}^2$ $E_2 = 80 \text{ MN/m}^2$ $E_1 = 20 \text{ MN/m}^2$ $E_o = 5 \text{ MN/m}^2$ $h_3 = ?$ $h_2 = 15 \text{ CM}$ $h_1 = 15 \text{ CM}$ $h_o = \infty$

Рис. 4—31. Расчетные схемы покрытий

Определить расход материала на 1 км дороги и произвести сравнение расходов при различной форме поперечного сечения покрытия.

202. Суточный грузооборот дороги  $Q = 350 \text{ м}^3$ . Вывозка производится автомобилем ЗИЛ-164 с прицепом-роспуском 2-ГР-10. С помощью приведенной выше номограммы (рис. 10) определить интенсивность движения и требуемый модуль деформации гравийной автомобильной лесовозной дороги.

203. Для обеспечения работы автомобилей МАЗ-200 двухслойное покрытие лесовозной дороги должно иметь модуль деформации  $E_{\text{тр}} = 25 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Определить толщину покрытия, если известно, что модули деформации подстилающего грунта  $E_0 = 10 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , первого слоя  $E_1 = 25 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , второго  $E_2 = 80 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , а толщины слоев относятся, как 2:1.

204. Шпалы лежневого покрытия изготовлены из бревен диаметром 0,22 м и представляют собой двугранные брусья толщиной  $h = 18 \text{ см}$ .

Определить напряжение в шпale при расчетной осевой нагрузке  $P_p = 40 \text{ кН}$  и модуль деформации грунтового основания  $E_0 = 8 \text{ Мн}/\text{м}^2$ .

205. Определить оптимальное расстояние между шпалами лежневого покрытия, если средний объем шпалы  $V_{\text{шп}} = 0,08 \text{ м}^3$ , ширина колесопроводов  $b = 1 \text{ м}$ , а расчетная осевая нагрузка  $P_p = 50 \text{ кН}$ .

206. Для колейной автомобильной лесовозной дороги необходимо установить ширину колесопроводов и расстояние между ними при условии, что расчетная скорость лесовозных автомобилей ЗИЛ-164 равна 10 м/сек.

207. Рассчитать лежневое покрытие автомобильной дороги, колесопроводы которого уложены на шпалах, если известны: внешняя нагрузка — груженый автомобиль МАЗ-501, модуль деформации грунта  $E_0 = 9 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , модуль упругости древесины  $E_1 = 10 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , допускаемое напряжение на изгиб  $\sigma = 12 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , коэффициент динамического воздействия автомобиля на дорогу  $K = 1,4$  и расчетная скорость движения  $V = 8 \text{ м/сек}$ .

208. Лежни колесопроводов, изготовленные из двугранного бруса, уложены на жесткие опоры (шпалы), расстояние между осями которых  $l = 1 \text{ м}$ . Площадь поперечного сечения лежня  $F = 350 \text{ см}^2$ , момент сопротивления  $W = 840 \text{ см}^3$ , толщина бруса  $h = 14 \text{ см}$ .

Определить максимальное напряжение в лежне под статическим воздействием переднего колеса груженого автомобиля ЗИЛ-164.

209. Железобетонная плита из бетона марки 350 размерами  $2,5 \times 1,0 \times 0,14 \text{ м}$  уложена на грунтовое основание с модулем деформации  $E_0 = 10 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Вычислить максимальное значение изгибающего момента в плите от расчетного автомобиля

МАЗ-501, применив метод профессора М. И. Горбунова-Посадова.

210. Железобетонная плита шириной  $b = 1 \text{ м}$  нагружена сосредоточенной силой  $P = 36 \text{ кн}$ . Упругая характеристика плиты  $L = 0,9 \text{ м}$ . Определить максимальное значение реактивного давления и изгибающего момента, принимая за расчетную схему бесконечной плиты на упругом основании.

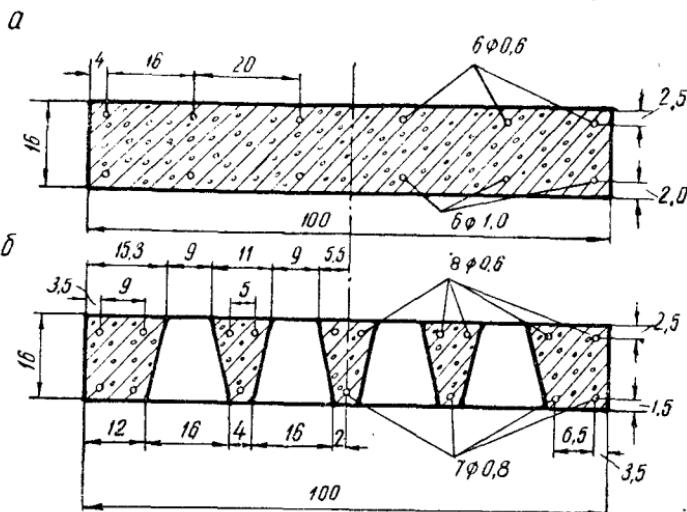


Рис. 4—32. Поперечные разрезы плит:  
а — сплошной; б — решетчатый (размеры даны в сантиметрах)

211. Определить из условий прочности толщину колейного железобетонного покрытия шириной  $b = 1 \text{ м}$ , если модуль деформации подстилающего грунта  $E_0 = 20 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , расчетная нагрузка — лесовозный автомобиль МАЗ-200, коэффициент динамического воздействия  $K_d = 1,2$ , марка бетона 300, арматура горячекатаная круглая из стали марки Ст. 3, процент армирования  $\mu = 0,6\%$ , а коэффициенты условия работы плиты и арматуры  $m = m_a = 1,0$ .

212. Рассчитать поперечное сечение колейного железобетонного покрытия, способное воспринять изгибающий момент  $M = 15 \text{ кн}\cdot\text{м}$ , если известны: марка бетона 300, арматура из холоднотянутой проволоки с расчетным сопротивлением  $m_a R_a = 340 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , процент армирования  $\mu = 0,5\%$  и коэффициент условия работы  $m = 1$ .

213. Железобетонная плита сплошного сечения  $0,16 \times 1,0 \text{ м}$ , изготовленная из бетона марки 200, при коэффициенте условий работы плиты  $m = 1$  воспринимает внешний изгибающий момент  $M = 18 \text{ кн}\cdot\text{м}$ .

Определить площадь сечения арматуры ( $F_a + F_a'$ ) из горяче-

катаной стали периодического профиля (ГОСТ 5781—53) и процент армирования плиты.

214. Произвести поверочные расчеты на прочность плит, по-перечные сечения которых представлены на рис 4—32. Плиты изготовлены из бетона марки 300 и армированы горячекатаной круглой арматурой из стали марки Ст. 3 с расчетным сопротивлением  $R_a = 210 \text{ Mn/m}^2$ .

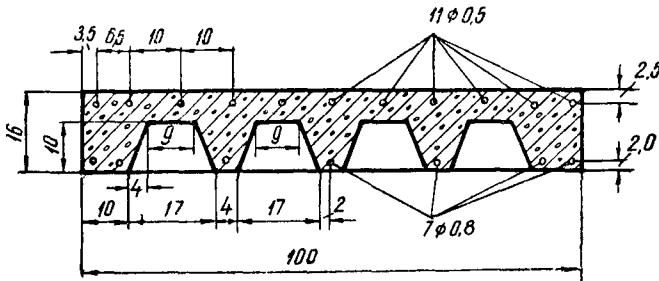


Рис. 4—33. Расчетное сечение ячеистой плиты

215. Рассчитать и запроектировать конструкцию железобетонной плиты с размерами в плане  $1,0 \times 2,5 \text{ м}$  под автомобиль ЗИЛ-164, если известны: марка бетона 400, арматура холоднотянутая из проволоки диаметром 6 и 10 мм, модуль деформации основания  $E_0 = 15 \text{ Mn/m}^2$ ; коэффициент динамического воздействия автомобиля на дорогу  $K_d = 1,15$ , коэффициенты условий работы плиты и арматуры  $m = m_a = 1$ .

Определить расход арматуры и бетона на изготовление плит.

216. На земляное полотно автомобильной лесовозной дороги ( $E_0 = 18 \text{ Mn/m}^2$ ) уложено колейное покрытие железобетонных плит размером  $2,5 \times 1,0 \times 0,14 \text{ м}$ . Плиты изготовлены из бетона марки 250 и армированы как в нижней, так и в верхней зоне. Используя метод О. Я. Шехтера, определить величину и характер распределения напряжений и реактивных давлений при статическом воздействии груженого автомобиля МАЗ-501.

217. Железобетонная плита размером  $2,5 \times 1,0 \times 0,12 \text{ м}$  изготовлена из бетона марки 300 и уложена на грунтовое основание, модуль деформации которого  $E_0 = 12 \text{ Mn/m}^2$ . Рассматривая плиту как полосу [23], определить величины изгибающих моментов.

218. Определить коэффициент запаса прочности плиты сечением  $0,15 \times 1,0 \text{ м}$ , если марка бетона 200, арматура горячекатаная периодического профиля из стали марки Ст. 5 имеет сечение  $F_a = 7,25 \text{ cm}^2$ , коэффициент условий работы  $m = 1,0$ , а изгибающий момент от внешней силы  $M = 20 \text{ кнм}$ .

219. Ячеистая железобетонная плита (рис. 4—33) под воздействием колес движущихся лесовозных автомобилей работает

в условиях знакопеременных напряжений. Определить изгибающие моменты, которые может воспринимать плита при растяжении нижних и верхних ее волокон, если расчетное сопротивление арматуры  $R_a = 210 \text{ Мн}/\text{м}^2$ .

220. Железобетонная плита толщиной  $h = 14 \text{ см}$  армирована таким образом, что площадь сечения нижней и верхней арматуры  $F_a = F'_a = 3,52 \text{ см}^2$ , а расстояние между ними  $Z = 10 \text{ см}$ . Какое напряжение возникает в арматуре после того, как изгибающий момент от внешней нагрузки достигнет  $7 \text{ кн}\cdot\text{м}$ ?

221. Площадь сечения горячекатаной арматуры из стали марки Ст. 0 в нижней зоне равна  $F_a = 6,28 \text{ см}^2$ , в верхней  $F'_a = 4,71 \text{ см}^2$ . Расчетный изгибающий момент от внешней нагрузки  $M = 12 \text{ кн}\cdot\text{м}$ . Вычислить расстояние между верхней и нижней арматурой  $Z$  и толщину плиты  $h$ .

222. Железобетонная плита размерами  $3,5 \times 1,0 \times 0,16 \text{ м}$  уложена на грунт ( $E_0 = 8 \text{ Мн}/\text{м}^2$ ,  $\mu_0 = 0,35$ ) и находится под воздействием сосредоточенной внешней нагрузки  $P = 40 \text{ кн}$ . Нагрузка приложена в середине плиты. Определить максимальный изгибающий момент от внешней нагрузки, рассматривая плиту как длинную балку на сплошном упругом основании и принимая марку бетона 300.

223. На земляное полотно автомобильной лесовозной дороги, модуль деформации которого  $E_0 = 22 \text{ Мн}/\text{м}^2$ , уложено железобетонное покрытие из плит размером  $3,5 \times 3,5 \times 0,15 \text{ м}$ . Построить эпюры расчетных характеристик плиты при положении задних колес автомобиля МАЗ-501 на ее середине, если известно, что марка бетона 300, а коэффициенты Пуассона грунта  $\mu = 0,30$ , железобетона  $\mu_1 = 0,15$ .

224. При расчете железобетонных плит на прочность модуль деформации грунта был принят равным  $15 \text{ Мн}/\text{м}^2$ . Фактический модуль деформации земляного полотна на отдельных участках оказался равным:

$ПК10 - ПК15$	...	$8 \text{ Мн}/\text{м}^2$
$ПК15 - ПК20$	...	$12 \text{ Мн}/\text{м}^2$
$ПК26 - ПК32$	...	$10 \text{ Мн}/\text{м}^2$
$ПК46 - ПК70$	...	$9 \text{ Мн}/\text{м}^2$

Для каждого участка дороги определить толщину слоя подсыпки карьерного материала, модуль деформации которого  $E = 30 \text{ Мн}/\text{м}^2$ .

225. Железобетонное покрытие работает в условиях агрессивной среды и подлежит расчету на трещиностойкость. Определить ширину трещин, которые могут возникнуть в плите размером  $2,5 \times 1,0 \times 0,16 \text{ м}$ , если известно, что изгибающий момент от нормативной нагрузки  $M^* = 15 \text{ кн}\cdot\text{м}$ , площадь сечения арматуры в растянутой зоне  $F_a = 6,28 \text{ см}^2$ , расстояние

между верхней и нижней арматурой  $Z = 12 \text{ см}$ , марка бетона 400.

226. Рассчитать предварительно напряженную железобетонную плиту для колейного покрытия автомобильной лесовозной дороги, принимая в качестве расчетной нагрузку от груженого автомобиля МАЗ-200 и модуль деформации основания  $E_0 = 20 \text{ Мн}/\text{м}^2$ .

227. Для пропуска автомобиля через реку толщина льда на переправе должна быть равна 30 см. Определить время, в течение которого будет наращена необходимая толщина льда, если известно, что река в местах переправы имеет быстрое течение, ледостав начался 1 ноября и средняя температура по прогнозу на ноябрь  $t = -10^\circ\text{C}$ .

228. Определить толщину льда, необходимую для пропуска груженого сортиментами автомобиля МАЗ-200, при условии, что коэффициент учета температуры воздуха  $K = 1.0$ , а коэффициент учета структуры и прочности льда  $n = 0.8$ .

229. Какую нагрузку можно допустить на автомобиль ЗИЛ-164, если известно, что толщина льда на переправе  $h = 20 \text{ см}$ , температура воздуха  $t = -10^\circ\text{C}$ , а прочность льда характеризуется коэффициентом  $n = 1.0$ ?

230. Определить минимально допустимое расстояние между автопоездами, движущимися по ледяной поверхности озера, если толщина льда соответствует общему весу автомобильного поезда ( $Q_{bp} = 270 \text{ кн}$ ).

231. Определить осадку и конечную плотность снежного покрова при уплотнении его бульдозером, имеющим удельное давление  $g = 80 \text{ кн}/\text{м}^2$ , если известно: начальная толщина снежного покрова  $h_0 = 1.0 \text{ м}$ , плотность снега  $\gamma_0 = 200 \text{ кг}/\text{м}^3$ , температура при уплотнении  $t = -8^\circ\text{C}$ .

232. Проезжая часть автомобильной лесовозной дороги покрыта укатанным снежным покровом, коэффициент жесткости которого  $C = 50 \text{ Мн}/\text{м}^3$ . Чему равна величина деформации снега при проходе груженого автомобиля МАЗ-501?

233. Лесовозная автомобильная дорога пересекает реку, покрытую льдом. Толщина льда соответствует расчетному весу автомобильного поезда  $Q_{bp} = 180 \text{ кн}$ . Определить безопасное расстояние между двумя полосами движения.

234. Определить максимальный вес автомобильных поездов, которые можно пропускать по прозрачному слоистому льду реки, толщина которого  $h = 0.4 \text{ м}$ . Начертить схему переправы.

235. При обследовании реки установлено, что толщина льда  $h_0 = 0.2 \text{ м}$ , а потребная толщина льда для возможности пропуска автомобилей  $h = 0.35 \text{ м}$ . Сколько дней понадобится для наращивания льда, если среднесуточная температура воздуха  $t_b = -21^\circ\text{C}$ ?

236. Измерения, произведенные 15 ноября, показали, что

толщина льда на озере  $h_0 = 22$  см. Среднесуточные температуры второй половины ноября были следующими:

16 ноября — 10°,	21 ноября — 22°,	26 ноября — 27°,
17 ноября — 12°,	22 ноября — 20°,	27 ноября — 30°;
18 ноября — 11°,	23 ноября — 19°,	28 ноября — 25°;
19 ноября — 16°,	24 ноября — 19°,	29 ноября — 24°;
20 ноября — 18°,	25 ноября — 24°,	30 ноября — 21°.

Какой толщины будет лед к 1 декабря?

237. Определить допустимое время стоянки транспорта на чистом льду при температуре воздуха ниже  $-5^\circ\text{C}$ , если расчетная нагрузка на лед  $Q_{bp} = 250$  кн, фактический вес автомобильного поезда  $Q = 180$  кн.

238. В начале оттепели толщина кристально прозрачного льда была равна 0,4 м и обеспечивала возможность проезда автомобильных поездов весом  $Q_{bp} = 420$  кн. Какого веса поезда можно пропускать по льду после десяти дней оттепели?

239. В начале эксплуатации ледяной переправы через реку допускаемая нагрузка на прозрачный слоистый лед, согласно расчету, была равна 130 кн. Какой полный вес автомобильного поезда можно пропускать по льду на седьмой день эксплуатации переправы, если среднесуточная температура за это время равна  $-20^\circ\text{C}$ ?

240. На реке К шириной 50 м нарастание льда происходило при температуре воздуха  $t_1 = -15^\circ\text{C}$ , затем температура понизилась до  $t_2 = -35^\circ\text{C}$ . Понижение температуры привело к образованию продольных трещин. Определить общую ширину трещин.

241. Укатанный снежный покров на автомобильной лесовозной дороге имеет плотность  $\rho = 500 \text{ кг}/\text{м}^3$  и коэффициент жесткости  $C = 80 \text{ МН}/\text{м}^3$ . Определить величину деформации снежного покрова при проходе груженого автомобиля МАЗ-501.

242. Рыхлый снежный покров на дороге имеет коэффициент жесткости  $C = 2,8 \text{ МН}/\text{м}^3$ . Определить глубину колеи, которая образуется при проходе автомобиля ЗИЛ-164.

243. Автомобиль ЗИЛ-157 движется по дороге, покрытой снегом. При удельном давлении колес на дорогу  $P_1 = 0,4 \text{ МН}/\text{м}^2$  снежный покров деформировался на величину  $h_1 = 10$  см. Какая деформация этого снежного покрова будет при удельном давлении  $P_2 = 0,25 \text{ МН}/\text{м}^2$ ?

244. Укатанный боронами и катками снег достигает плотности  $\rho = 460 \text{ кг}/\text{м}^3$  и имеет коэффициент жесткости  $C = 30 \text{ МН}/\text{м}^3$ . При каком удельном давлении колес на дорогу деформация снежного покрова не превысит 2 см?

245. Запроектировать поперечные профили одноколейной ледяной автомобильной лесовозной дороги для случая нулевых отметок, насыпи и выемки, принимая в качестве подвижного

состава автомобиль МАЗ-501 и однополосный роспуск 1-РО-12 ЦНИИМЭ.

246. Рассчитать поперечный профиль одноколейной ледяной дороги в нулевых отметках для двухполосного (однополосного) движения автомобилей ЗИЛ-164 с прицепами-роспусками АОС-6Х.

247. Наращивание льда на колейной автомобильной дороге производится слоями толщиной  $h = 0,5 \text{ см}$ . Определить время, необходимое для полного замерзания воды при температуре воздуха  $t = -15^\circ\text{C}$ .

248. При устройстве ледяной колеи интервал между отдельными проходами поливочных машин  $T = 0,5$  часа, а температура воздуха  $t = -10^\circ\text{C}$ . Определить максимально допустимую величину наращиваемого слоя за один проход поливочной машины.

249. Определить количество воды, которое необходимо для постройки 1 км одноколейной ледяной дороги, если расчетная толщина льда  $h = 5 \text{ см}$ , а ширина колеи  $b_k = 0,3 \text{ м}$ .

250. Для постройки одноколейной ледяной дороги используются вакуум-цистерны емкостью  $4,3 \text{ м}^3$ . Ширина обледеняемой полосы  $b = 0,9 \text{ м}$ , а толщина наращиваемого слоя льда за один проход  $h = 5 \text{ мм}$ . Какую протяженность дороги можно пролить, имея одну цистерну воды?

251. В период устройства ледяной колеи израсходовано  $40 \text{ м}^3$  воды на 1 км. За время эксплуатации дороги с декабря по апрель произведено 40 поливок. При каждой поливке наращивался слой льда в среднем на толщину 4 мм.

Определить общий расход воды на 1 км пути.

252. Ширина полоза прицепа-роспуска АОС-6Х  $b_n = 10 \text{ см}$ , а длина  $l = 1,65 \text{ м}$ . Ширина ледяной колеи по дну на прямом участке дороги равна 20 см.

Вычислить необходимую ширину колеи на закруглении, радиус которого  $R = 100 \text{ м}$ .

253. Вывозка леса производится автомобилем ЯАЗ-214 с прицепом 2-ПО-20. Ширина подреза полоза  $b_n = 12 \text{ см}$ .

Определить ширину колеи на закруглении ( $R = 50 \text{ м}$ ) при жесткой базе прицепного подвижного состава  $l = 3,4 \text{ м}$ .

254. По существующей грунтовой дороге на расстояние  $L = 18 \text{ км}$  производится вывозка леса в объеме  $Q = 150 \text{ тыс. м}^3$  в год. При этом стоимость перевозки 1  $\text{м}^3$  древесины на расстояние 1 км равна  $\mathcal{E}_{\text{гр}} = 15 \text{ коп.}$

Постройка 1 км колейного железобетонного покрытия в этих условиях обойдется  $C = 10 \text{ тыс. руб.}$ , но зато стоимость вывозки 1  $\text{м}^3$  на расстояние 1 км снизится до  $\mathcal{E}_{\text{ж.б}} = 10 \text{ коп.}$

Определить срок окупаемости железобетонного покрытия.

255. Проанализировать условия применения различных типов покрытий на автомобильных лесовозных дорогах, установ-

вить факторы, влияющие на выбор типа покрытий, и определить степень влияния этих факторов.

256. Для магистрали лесовозной дороги III категории ( $Q_{год} = 60$  тыс.  $m^3$ ), длина которой  $L = 30$  км, необходимо выбрать дорожное покрытие. Конкурентоспособными по местным условиям являются два типа покрытия — гравийное и железобетонное. Стоимость строительства 1 км дороги с гравийным

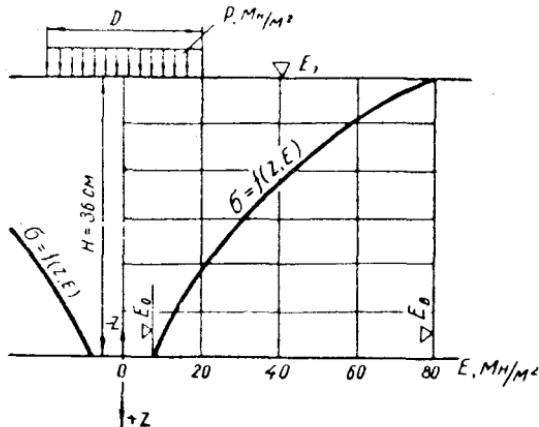


Рис. 4—34. Схема для конструирования многослойного покрытия

покрытием  $C_1 = 8$  тыс. руб., а с железобетонным  $C_2 = 25$  тыс. руб. Эксплуатационные затраты, отнесенные к одному  $m^3$  вывезенной древесины, соответственно составляют:  $\vartheta_1 = 3$  руб. и  $\vartheta_2 = 2,4$  руб. Какой из этих типов покрытий является экономически более выгодным?

257. Толщина трехслойного покрытия, вычисленная по методу профессора А. К. Бибули [7, 10],  $H = 0,36$  м. Модуль деформации основания  $E_0 = 8$  Мн/м<sup>2</sup>, а верхнего слоя  $E_v = 80$  Мн/м<sup>2</sup>.

Запроектировать толщину отдельных конструктивных слоев с таким расчетом, чтобы прочность покрытия по глубине ( $Z$ ) убывала в соответствии с законом уменьшения напряжения  $\sigma = f(z, E)$  (рис. 4—34).

258. Разработать конструкцию двухслойного покрытия для укладки его на земляное полотно, модуль деформации которого  $E_0 = 10 \text{ Мн/м}^2$ , верхний слой — грунтобитум ( $E_2 = 100 \text{ Мн/м}^2$ ), нижний — песок ( $E_1 = 25 \text{ Мн/м}^2$ ), а требуемый модуль деформации для расчетного автомобиля Н-13  $E_{\text{тр}} = 30 \text{ Мн/м}^2$ .

259. Автомобильная лесовозная дорога I категории проектируется с двухполосной проезжей частью. На полосе грузового движения покрытие устраивается из железобетонных плит, на полосе порожнякового движения — грунтовое.

Разработать поперечный профиль проезжей части и показать сопряжение покрытия с земляным полотном.

260. Лесовозная дорога с грунтоцементным покрытием, имеющая ширину проезжей части  $b = 6 \text{ м}$ , пересекает под прямым углом грунтовую дорогу общего пользования ( $B = 6 \text{ м}$ ). За-проектировать пересечение дорог в одном уровне, начертить план и профили грунтоцементного покрытия.

261. Выбрать наиболее рациональный тип покрытия автомобильной лесовозной дороги длиною  $L = 25 \text{ км}$  и с годовым грузооборотом  $Q_{\text{год}} = 80 \text{ тыс. м}^3$ , если известны следующие технико-экономические показатели отдельных вариантов:

Наименование показателей	Численное значение показателей для вариантов				
	грунтовое из оптимальных смесей	гравийное	деревянно-лежневое	железобетонное (колейное)	грунтоцементное
Стоимость постройки 1 км покрытия, тыс. руб. . .	5	12	15	20	13
Стоимость содержания 1 км покрытия в год, руб. . . . .	200	600	800	550	300
Сменная производительность автомобилей, $\text{м}^3$	44	50	60	66	62
Стоимость поездосмены, руб. . . . .	19	17	15	14	15

262. Определить условия применения колейного железобетонного покрытия на автомобильной лесовозной дороге длиною  $L = 30 \text{ км}$ , если нормативный срок окупаемости  $T = 5 \text{ лет}$ , стоимость вывозки 1  $\text{м}^3$  на расстояние 1 км по дороге с гравийным покрытием равна 6 коп., с железобетонным — 5 коп., а разница в стоимости строительства железобетонного и гравийного покрытия составляет 300 тыс. руб.

## ГЛАВА ПЯТАЯ

# ИСКУССТВЕННЫЕ СООРУЖЕНИЯ И ДОРОЖНЫЙ ВОДООТВОД

Прочность и износостойкость автомобильных лесовозных дорог во многом зависят от работы системы дорожного водоотвода, включающего искусственные сооружения, боковые и нагорные канавы, водосливные призмы, бермы, банкеты и другие устройства.

Правильная система водоотвода может быть запроектирована, если при этом достаточно полно будут учтены все гидрологические и почвенно-грунтовые условия, а при расчете ее будут использованы наиболее совершенные методы. Обеспечение бесперебойной работы водоотводных сооружений в процессе эксплуатации достигается хорошей организацией их содержания и своевременными ремонтами.

### 5—1. ВАЖНЕЙШИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОСБОРА

Расчеты системы дорожного водоотвода связаны с определением расчетных элементов и характеристик водосбора: площади, уклонов бассейна и русла, морфологических данных, поперечного сечения русла и пойм, их длины, средней и наибольшей ширины, коэффициента ширины, коэффициента удлинения водораздельной линии, коэффициента асимметричности и др.

Площадь водосбора (бассейна) (рис. 5—1) представляет собой часть территории, поверхностные воды с которой стекают к данному сооружению или реке. Граница водосборной площади, проходящая по наивысшим точкам рельефа, носит название *водораздельной линии* (водораздела). Линия, соединяющая наиболее пониженные точки бассейна, называется *логом* или *тальвегом*. Бассейн может иметь несколько логов, один из которых — главный.

Границы и величина площади водосбора определяются по карте местности в горизонталях. Если такой карты нет, то гра-

ницы водосбора и его площадь могут быть установлены на основании ситуационных признаков, инструментальных измерений или визуальных обследований.

В зависимости от величины водосборной площади искусственные сооружения подразделяются на малые (мосты и трубы) и большие (мосты).

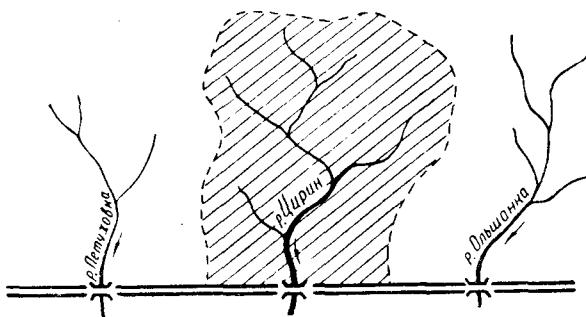


Рис. 5—1. Площадь водосбора искусственного сооружения:  
----- водораздельная линия

К малым [12] относятся такие искусственные сооружения, у которых площадь водосборного бассейна не превышает  $100 \text{ км}^2$ .

К большим [13] относятся мосты, предназначенные для пропуска воды, стекающей с площади, превышающей  $100 \text{ км}^2$ . Длина больших мостов обычно превышает 100 м.

Методы расчета малых искусственных сооружений отличаются от методов расчета средних и больших мостов.

При расчете водоотводных канал определяется площадь бассейна канавы (рис. 5—2). С одной стороны эта площадь ограничивается водораздельной линией, а с другой — осью дороги.

Длина реки — расстояние по реке от ее истоков до устья — на местности определяется путем измерения мерной лентой, а на карте — масштабной линейкой, измерителем при малом его растворе или курвиметром.

Длина бассейна — расстояние от сооружения до водораздела по главному тальвергу — определяется по карте в горизонталях или по картографическому лесоустроительному материалу, а при отсутствии последних — путем проложения теодолитного хода.

Продольные уклоны главного русла, пойм и лога могут быть установлены путем нивелировки или же вычислены по данным плана местности в горизонталях. При этом значение уклона определяется как отношение разности отметок рассматриваемых точек (например, отметки начала лога и отметки лога у искусственного сооружения) к расстоянию между этими отметками.

Средняя длина безрусловых склонов водосбора определяется по формулам:

а) при наличии боковых логов

$$b_c = \frac{1000 F}{1,8(L + \Sigma l)} \text{ м}, \quad (5-1)$$

где  $F$  — площадь бассейна,  $\text{км}^2$ ;

$L$  — длина главного лога,  $\text{км}$ ;

$\Sigma l$  — сумма длин боковых логов русловой системы,  $\text{км}$ ;

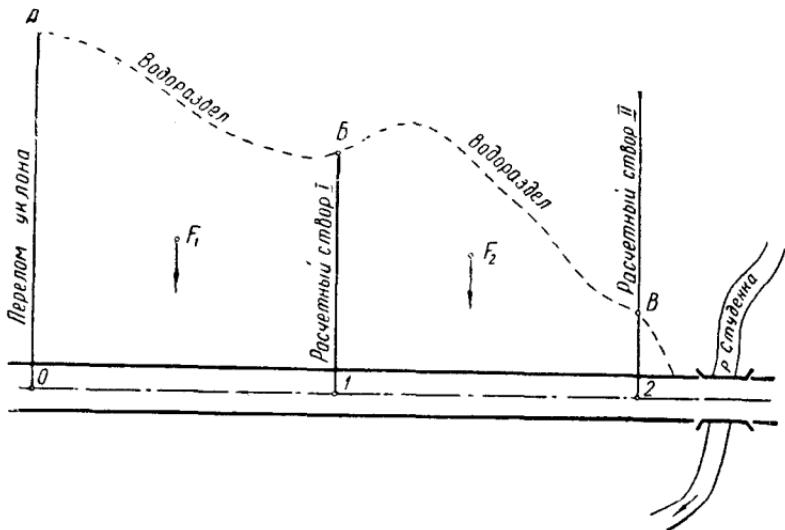


Рис. 5—2. Водосборная площадь дорожных каналов

б) при отсутствии боковых логов и двухскатном бассейне

$$b_c = \frac{500 F}{L} \text{ м}; \quad (5-2)$$

в) при односкатном бассейне

$$b_c = \frac{1000 F}{L} \text{ м}. \quad (5-3)$$

Уклон склонов в бассейне определяется в направлении наибольшей крутизны. За расчетное значение принимается среднегарифметическое ряда измерений (4—6).

По карте в горизонталах средний уклон склонов бассейна находится из выражения

$$i_c = \frac{C \Sigma l_r}{F}, \quad (5-4)$$

где  $C$  — расстояние между смежными горизонталами на карте по высоте,  $\text{м}$ ;

$\Sigma l_r$  — общая длина всех линий горизонталей в пределах площади бассейна  $F$ ,  $\text{км}$ .

Средняя ширина бассейна определяется по формуле

$$B_{\text{ср}} = \frac{F}{L}. \quad (5-5)$$

Наибольшая ширина бассейна  $B_{\max}$  измеряется по максимальному поперечнику в направлении, перпендикулярном к оси главного лога.

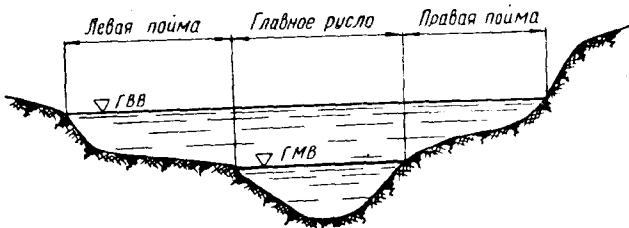


Рис. 5-3. Поперечное сечение реки

Коэффициент ширины ( $\delta$ ), или вытянутости, бассейна вычисляется из выражения

$$\delta = \frac{F}{L^2}. \quad (5-6)$$

Коэффициент удлинения водораздельной линии  $\beta_s$  равен

$$\beta_s = \frac{0,283 S}{\sqrt{F}}, \quad (5-7)$$

где  $S$  — длина водораздельной линии, км.

Степень, или коэффициент асимметричности, бассейна находится из соотношения

$$\alpha_1 = \frac{F_{\text{лев}}}{F_{\text{пр}}}, \quad (5-8)$$

где  $F_{\text{лев}}$ ,  $F_{\text{пр}}$  — площади левого и правого склонов,  $\text{км}^2$ .

Морфологическая характеристика бассейна включает: тип растительности, степень залесенности и заболоченности, процент озерности, категорию почв, рельеф местности и некоторые другие данные [63].

Поперечное сечение створа будущего искусственного сооружения обычно снимается в натуре путем промера глубин в русле водотока, нивелировки пойм и точек, установленных у кромки потока на уровне горизонта воды.

При поисковых работах поперечное сечение реки или лога можно составить также по плану местности в горизонталах или по карте крупного масштаба.

Основными характеристиками поперечного сечения реки

(рис. 5—3) являются: площади живого сечения при характерных горизонтах, а также смоченные периметры и гидравлические радиусы при этих горизонтах.

## 5—2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ МАЛЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

При расчете малых искусственных сооружений обычно определяются величины расходов от ливневого, снегового или смешанного стоков, а за расчетный принимается больший из них.

Практикой установлено, что водотоки с небольшой водосборной площадью (до 100 км<sup>2</sup>, а в Белорусской ССР до 50 км<sup>2</sup>), к которым принадлежат овраги, балки, ручьи и очень малые реки, получают наибольший расход от ливней. Водотоки же, имеющие площади водосбора больше 100 км<sup>2</sup>, чаще всего имеют максимальный расход от таяния снегов в период половодья.

Для определения расходов ливневого стока существуют несколько методов. Среди них методы Г. А. Алексеева [1], Е. В. Болдакова [12], Д. П. Соколовского [73], СоюздорНИИ [4; 7], НТК НКПС [14] и др.

Основным следует считать метод, базирующийся на новых нормах стока, утвержденных Минтрансстромом СССР (ВСН 63—61)\*. По этому методу максимальный расход ливневого стока определяется по формуле

$$Q = 16,7 a_1 \varphi F \gamma \delta_{б.о} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (5-9)$$

где  $a_1$  — расчетная интенсивность водоотдачи, мм/мин, соответствующая заданной обеспеченности и расчетному времени водоотдачи  $t_b$ ;

$\varphi$  — коэффициент полноты стока;

$F$  — площадь водосбора, км<sup>2</sup>;

$\gamma$  — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения осадков на площади;

$\delta_{б.о}$  — коэффициент озерности и заболоченности.

Расчетная интенсивность водоотдачи для различных районов СССР зависит от категории почв, времени водоотдачи и принятой обеспеченности.

Территория СССР разделяется на 15 ливневых районов, границы которых нетрудно установить по карте изолиний (рис. 5—4).

Почвы по впитываемости подразделяются на шесть категорий:

I. Асфальт, влажная промерзшая почва, лед, скала без трещин, бетон.

II. Глина, жирноглинистые почвы, такыры и такыровые почвы, мощенные поверхности.

\* Инструкция по расчету стока с малых бассейнов. ВСН 63—61. Минтранстрой СССР. В данном параграфе этот метод изложен упрощенно.

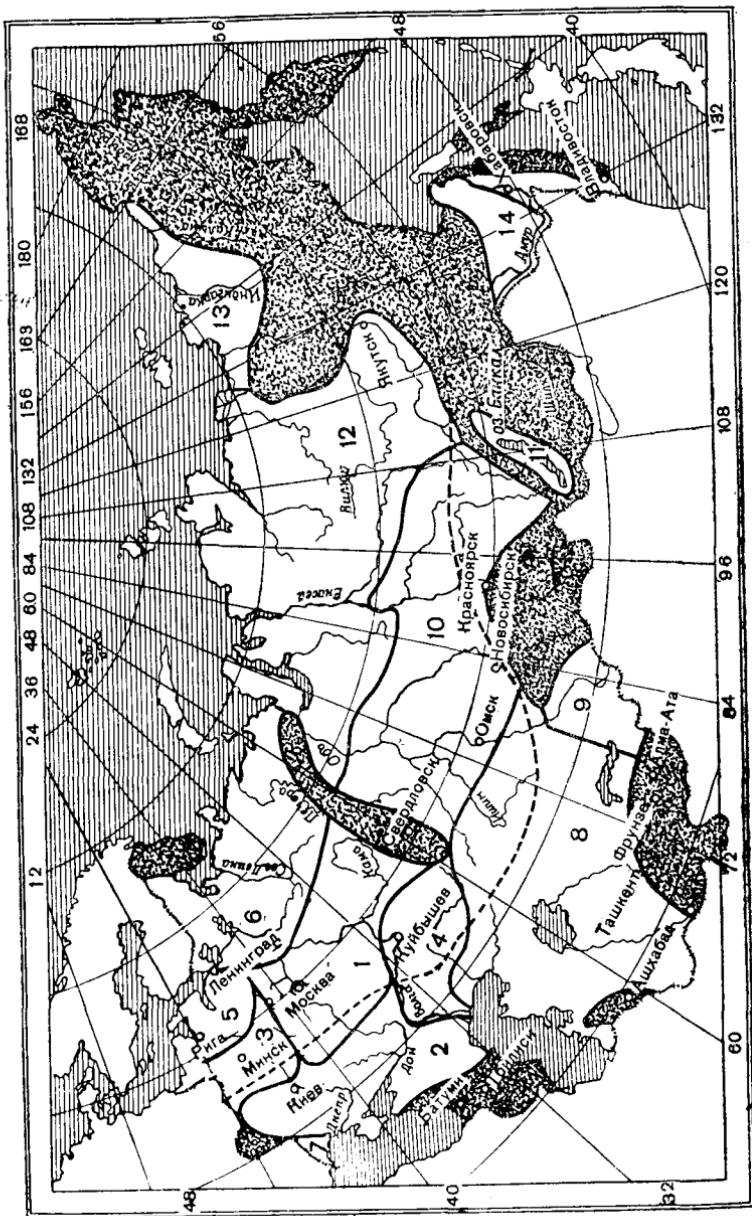


Рис. 5—4. Карта климатических районов

Таблица 5—1

Ливневые районы	Процент обеспеченности	Интенсивность водоотдачи (мм/мин) при категории почв					
		I	II	III	IV	V	VI
1	1	1,63	1,50	1,33	1,03	0,60	0,17
	2	1,50	1,33	1,13	0,87	0,47	—
	4	1,33	1,20	1,03	0,77	0,40	—
2	1	1,67	1,53	1,33	1,07	0,57	—
	2	1,47	1,30	1,20	0,83	0,40	—
	4	1,33	1,23	1,00	0,57	0,10	—
3	1	1,30	0,90	0,85	0,61	—	—
	2	1,20	0,72	0,65	0,34	—	—
	4	1,10	0,61	0,50	0,25	—	—
4	1	1,50	1,20	1,00	0,80	—	—
	2	1,30	1,05	0,83	0,66	—	—
	4	1,10	0,80	0,65	0,50	—	—
5	1	1,03	0,90	0,77	0,60	0,23	—
	2	0,93	0,80	0,69	0,50	—	—
	4	0,83	0,70	0,60	0,43	—	—
6	1	0,57	0,53	0,50	0,23	—	—
	2	0,50	0,47	0,40	0,13	—	—
	4	0,43	0,41	0,37	—	—	—
7	1	2,00	1,87	1,70	1,40	1,07	0,33
	2	1,67	1,57	1,37	1,07	0,53	—
	4	1,50	1,43	1,23	0,87	0,40	—
8	1	0,72	0,47	0,38	—	—	—
	2	0,55	0,37	—	—	—	—
	4	0,43	0,27	—	—	—	—
9	1	1,40	1,20	1,02	0,75	—	—
	2	1,20	0,97	0,81	0,62	—	—
	4	0,85	0,70	0,56	—	—	—
10	1	1,40	1,33	1,17	0,90	0,40	—
	2	1,23	1,17	0,93	0,67	0,50	—
	4	1,10	1,00	0,83	0,40	—	—
11	1	0,90	0,70	0,61	0,34	—	—
	2	0,80	0,61	0,52	0,31	—	—
	4	0,70	0,50	0,46	—	—	—
12	1	0,30	0,23	—	—	—	—
	2	0,23	0,17	—	—	—	—
	4	0,20	0,13	—	—	—	—
13	1	0,15	0,03	—	—	—	—
	2	0,13	—	—	—	—	—
	4	0,10	—	—	—	—	—
14	1	1,20	1,13	0,90	0,63	0,33	—
	2	1,10	0,97	0,83	0,57	0,23	—
	4	1,00	0,90	0,73	0,43	—	—
15	1	2,10	2,03	1,87	1,77	1,53	1,03
	2	1,97	1,87	1,67	1,60	1,40	0,60
	4	1,77	1,67	1,60	1,50	1,10	0,33

III. Суглинки, подзолы, подзолистые и серые лесные суглиники, тучные и суглинистые черноземы, болотные почвы.

IV. Чернозем, светло-каштановые и темно-каштановые почвы, лёсс, карбонатные почвы.

V. Супеси, бурые и серо-бурые, пустынно-степные почвы.

VI. Пески, гравий, каменистые почвы, рыхлые.

Расчетная обеспеченность устанавливается с учетом срока службы, конструкции и назначения искусственных сооружений.

Обеспеченность 2% (вероятность превышения — 1 раз в 50 лет) принимается для деревянных мостов, бетонных и железобетонных труб сборной конструкции, устраиваемых на магистральных лесовозных дорогах со сроком службы более 20 лет.

Обеспеченность 3% рекомендуется для искусственных сооружений, устраиваемых на магистралях и ветках со сроком службы от 5 до 20 лет.

Обеспеченность 8—10% может быть принята при проектировании мостов и труб на автомобильных лесовозных дорогах со сроком службы до 5 лет.

Расчетное время водоотдачи  $t_b$  определяется в зависимости от длины, крутизны и шероховатости склонов, а также от площади и длины водосбора.

Интенсивность водоотдачи при  $t_b = 30$  мин приведена в табл. 5—1.

Коэффициент полноты стока  $\phi$  зависит от характеристик  $\frac{t_b}{t_c}$  и  $\lambda$  (см. инструкцию ВСН 63—61).

Причем время  $t_c$ , необходимое для установления полного стока на склонах, вычисляется по формуле

$$t_c = \frac{18,6}{[f(i_c)]^{0,4}} \left( \frac{b_c}{m_c} \right)^{0,4} \text{ мин}, \quad (5-10)$$

где  $f(i_c)$  — функция, полученная на основании опытных измерений скоростей стекания воды по склонам;

$b_c$  — длина склонов (1—3);

$m_c$  — коэффициент гидравлической шероховатости склонов.

Таблица 5—2

$i_c$	$\frac{18,6}{[f(i_c)]^{0,4}}$	$i_c$	$\frac{18,6}{[f(i_c)]^{0,4}}$
0,002	15,5	0,08	11,1
0,005	14,9	0,10	10,7
0,010	14,6	0,20	9,3
0,020	13,7	0,40	8,2
0,030	13,1	0,80	7,6
0,040	12,4	1,00	7,4
0,060	11,7	—	—

Величина  $18,6 : [f(i_c)]^{0,4}$  в зависимости от значения уклона  $i_c$  приведена в табл. 5—2.

Коэффициент, характеризующий гидравлическую шероховатость склонов, принимается по табл. 5—3.

Т а б л и ц а 5—3

Характеристика поверхности склонов	Коэффициент $m_c \cdot m^{0,5}/\text{сек}$ , если травяной покров		
	весьма редкий, отсутствует	обычный	густой
Невпитывающая поверхность (асфальт) . . . . .	100	—	—
Укатанная, спланированная поверхность . . . . .	50	30	20
Поверхность, хорошо обработанная вспашкой и боронованием, невспаханная, без кочек, бульжная мостовая . . . . .	30	20	10
Грубо обработанная поверхность, глыбы после вспашки, таежные завалы . . . . .	20	10	5

Значение  $\lambda$  определяется по формуле

$$\lambda = \frac{69L \sqrt[4]{\frac{1+\alpha^2}{\alpha}} \left(1 + \frac{\Sigma l}{L}\right)^{\frac{1}{6}}}{m_{\lambda}^{\frac{3}{4}} F^{\frac{1}{4}} i_{\lambda}^{\frac{8}{3}} t_c}, \quad (5-11)$$

где  $\alpha$  — условный коэффициент откоса главного русла, принимаемый: для горных условий 1,0; для средних условий 2,5; для равнинных условий 7,0 и для заболоченных бассейнов 20,0;

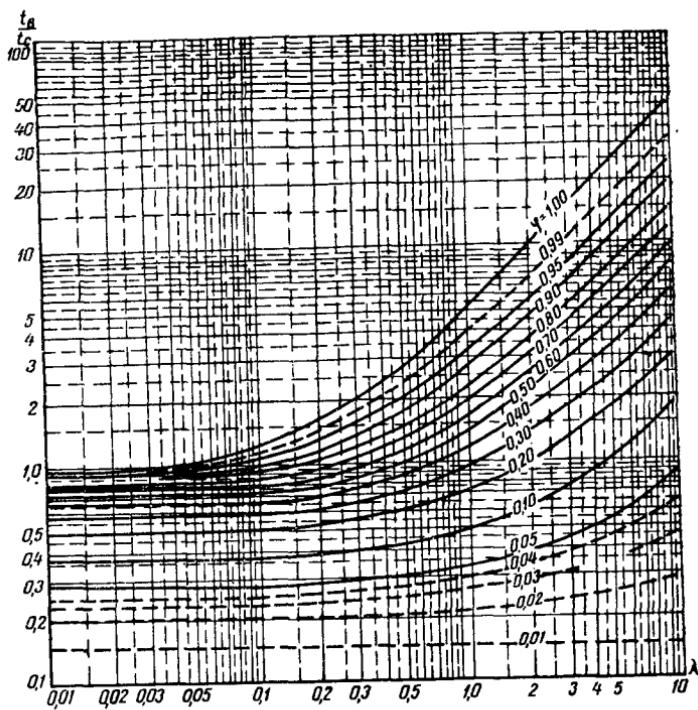
$m_{\lambda}$  — коэффициент гидравлической шероховатости русла: ровное земляное ложе — 25; извилистое или заросшее — 20; сильно заросшее — 15, русло в завалах — 10;

$i_{\lambda}$  — уклон главного лога в  $^{\circ}/_{100}$ , установленный по картам или же по данным натурных съемок;

$\Sigma l$  — сумма длин наиболее значительных ( $l > 0,75 b_c$ ) логов,  $km$ ;

$L$  — длина водосбора по главному логу,  $km$ .

Зная отношение  $\frac{t_{\lambda}}{t_c}$  и  $\lambda$ , по графику (рис. 5—5) находим коэффициент  $\varphi$ .



Р и с. 5—5. График коэффициента полноты ливневого стока

Входящий в формулу (9) коэффициент неравномерности распределения осадков  $\gamma$  зависит от линейных размеров водосборной площади. Значение его приведено в табл. 5—4.

Т а б л и ц а 5—4

Наибольший линейный размер водосборной площади, км	ДВК, Карпаты, Кавказ и Черноморское побережье Кавказа	Сибирь, европейская часть СССР, кроме Южного Поволжья и Черноморского побережья	Средняя Азия, Южное Поволжье, Казахстан
5	1,00	0,99	0,97
10	0,98	0,94	0,82
15	0,92	0,81	0,54
20	0,84	0,63	0,36
25	0,74	0,49	0,28
30	0,64	0,41	0,24

Коэффициент уменьшения ливневого стока  $\delta_{б.о}$  зависит от места расположения и относительной площади озер ( $O_3$ ) и болот ( $B$ ) (табл. 5—5).

Таблица 5—5

Расположение озер и болот по длине водосбора	$O_3, \%$ (при $F \leq 10 \text{ км}^2$ ) или $O_3 + B, \%$ (при $F > 10 \text{ км}^2$ )									
	2	4	6	8	10	15	20	30	40	50
В нижней части	0,85	0,75	0,65	0,55	0,50	0,40	0,35	0,20	0,15	0,10
В верхней части	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,65	0,55	0,45	0,35	0,25

Определив численное значение входящих в формулу (9) величин и произведя вычисление, получим наибольший расход ливневого стока заданной обеспеченности при расчетном времени водоотдачи  $t_B$ .

Определение расходов при смешанном стоке производится по методу предельных интенсивностей: \*

$$Q = \frac{W_{\text{см}}}{4,5(4+\tau)} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (5-12)$$

где  $W_{\text{см}}$  — общий объем смешанного стока, тыс.  $\text{м}^3$ ;

$\tau$  — время подъема паводка, т. е. время от начала паводка до наступления пика, час.

Объем смешанного стока вычисляется по формуле

$$W_{\text{см}} = W_{\text{сн}} + W \text{ тыс. } \text{м}^3, \quad (5-13)$$

где  $W_{\text{сн}}$  — объем снегового стока  $W_{\text{сн}} = W_{\text{н}} \varphi_1 F$ , тыс.  $\text{м}^3$ ;

$W$  — объем весеннего ливневого стока  $W = a t_B F \gamma$ , тыс.  $\text{м}^3$ ;

$F$  — площадь бассейна,  $\text{км}^2$ ;

$W_{\text{н}}$  — объем снегового стока в тыс.  $\text{м}^3$  с 1  $\text{км}^2$  площади бассейна (табл. 5—6).

Таблица 5—6

№ районов снегового и смешанного стока	Значение $W_{\text{н}}$ при обеспеченности, %					
	1	2	4	10	20	50
1	55	51	44	37	31	25
2	44	41	36	30	25	20
3	33	30	26	22	19	15
4	42	37	30	25	16	7

\* По такого же вида формуле может определяться и снеговой сток для водосборной площади меньше  $100 \text{ км}^2$ .

Территория СССР делится на следующие районы снегового стока.

**Район № 1.** Северная граница: Рига, Великие Луки, Москва, Горький, Казань, Свердловск, Тюмень, Новосибирск, южная часть Байкала, район Яблонового и Станового хребтов, побережье Охотского моря, Камчатка. Южная граница: (в пределах европейской части Союза) до зоны заметного снегового покрова, включая Полтаву, Волгоград, а далее к востоку — южная часть Урала, Саяны, Алтай, Хамар-Дабан. Кроме того, по нормам района № 1 могут временно рассчитываться стоки в горных районах Карпат, Кавказа, Средней Азии.

**Район № 2.** Северная граница до района № 3, южная — до границы района № 1.

**Район № 3.** К северу от устья реки Мезень и далее к востоку примерно по Полярному кругу.

**Район № 4.** Сальские и Астраханские степи, юг Сибири.

Коэффициент  $\varphi_1$ , учитывающий неравномерность таяния снега, принимается в зависимости от максимального линейного размера бассейна:

длина или ширина бассейна, км	10	12	14	16	20
коэффициент $\varphi_1$		1,0	0,95	0,90	0,85

Время наступления пика паводка  $\tau$  определяется по формуле

$$\tau = 0,417 \tau_{\text{л}} L_0 \text{ час}, \quad (5-14)$$

где  $L_0$  — расстояние от центра тяжести водосбора до сооружения, км;

$\tau_{\text{л}}$  — время стекания потока по логу на каждый метр его длины (табл. 5—7), сек.

Продолжительность стекания потока во многом зависит от коэффициента гидравлической шероховатости лога (руслы)  $m_{\text{л}}$ , значение которого приведено выше.

Определение максимальных расходов весеннего половодья в практике гидрологических расчетов ведется по формулам теории изохрон (Г. А. Алексеев, А. В. Огневский) или же по формулам, базирующимся на суммарном учете основных факторов формирования максимальных расходов (К. П. Воскресенский, Д. Л. Соколовский, Л. Т. Федоров) и ряда районных формул.

При определении максимальных расходов снегового стока наибольшее распространение имеет формула Д. Л. Соколовского.

$$Q_{\max(\text{ср})} = 0,278 A_{\text{ср}} F^{1-n} \delta \delta' m^3/\text{сек}, \quad (5-15)$$

где  $A_{\text{ср}}$  — среднее значение параметра, характеризующего максимальную интенсивность стока, мм/час (рис. 5—6);

$F$  — площадь бассейна,  $\text{км}^2$ ;

$n$  — коэффициент, зависящий от площади бассейна: при  $F \leqslant 20-50 \text{ км}^2 n = 0$ ; при  $50 < F < 100 \text{ км}^2 n = 0,15$ ; при  $F > 100 \text{ км}^2 n = 0,25$ ;

Таблица 5—7

Расход воды $Q$ , $\text{м}^3/\text{сек}^3$	Коэффициент гидравлической шероховатости, $m_L$	Значение $\tau_L$ при среднем уклоне лога $i_L$ , $^{\circ}/_{100}$									
		1	2	3	5	7	10	15	20	30	40
3	25	2,76	2,10	1,74	1,50	1,32	1,14	1,02	0,90	0,78	0,66
	20	3,30	2,46	2,16	1,74	1,56	1,38	1,14	1,08	0,90	0,78
	15	3,96	3,06	2,64	2,16	1,92	1,68	1,44	1,32	1,08	1,02
	10	—	4,14	3,60	2,94	2,52	2,28	1,93	1,80	1,50	1,38
5	25	2,46	1,86	1,56	1,32	1,14	1,02	0,90	0,78	0,66	0,60
	20	2,88	2,16	1,92	1,56	1,38	1,20	1,02	0,96	0,78	0,72
	15	3,54	2,70	2,34	1,92	1,68	1,50	1,32	1,14	0,96	0,90
	10	—	3,66	3,12	2,58	2,28	2,04	1,74	1,56	1,32	1,20
7	25	2,22	1,68	1,44	1,20	1,08	0,90	0,84	0,72	0,60	0,54
	20	2,64	1,98	1,74	1,44	1,26	1,08	0,96	0,84	0,72	0,66
	15	3,24	2,46	2,16	1,74	1,56	1,38	1,20	1,08	0,90	0,84
	10	—	3,36	2,88	2,34	2,10	1,86	1,62	1,44	1,20	1,08
10	25	2,04	1,56	1,32	1,08	0,96	0,84	0,78	0,66	0,57	0,51
	20	2,40	1,80	1,56	1,32	1,14	0,90	0,84	0,78	0,66	0,59
	15	3,00	2,22	1,98	1,62	1,44	1,26	1,08	0,96	0,84	0,72
	10	—	3,06	2,64	2,22	1,92	1,74	1,44	1,32	1,08	1,02
15	25	1,80	1,38	1,20	0,90	0,90	0,78	0,72	0,60	0,51	0,45
	20	2,16	1,68	1,44	1,14	1,02	0,90	0,78	0,72	0,66	0,54
	15	2,70	2,04	1,74	1,44	1,32	1,14	0,96	0,90	0,73	0,66
	10	—	2,76	2,34	1,98	1,74	1,56	1,32	1,20	1,02	0,90
20	25	1,68	1,26	1,14	0,90	0,84	0,72	0,66	0,56	0,47	0,42
	20	2,04	1,56	1,32	1,08	0,96	0,84	0,72	0,66	0,56	0,50
	15	2,52	1,92	1,60	1,32	1,20	1,02	0,90	0,84	0,72	0,60
	10	3,36	2,58	2,16	1,86	1,62	1,44	1,20	1,08	0,96	0,84
50	25	1,32	1,02	0,90	0,72	0,66	0,56	0,51	0,45	0,36	0,33
	20	1,62	1,26	1,08	0,84	0,78	0,66	0,57	0,52	0,45	0,39
	15	1,98	1,50	1,32	1,08	0,96	0,84	0,72	0,66	0,54	0,49
	10	2,64	2,04	1,68	1,50	1,32	1,14	0,96	0,84	0,78	0,66
100	25	1,14	0,84	0,72	0,60	0,54	0,48	0,42	0,36	0,30	0,27
	20	1,38	1,08	0,90	0,72	0,66	0,56	0,49	0,43	0,37	0,33
	15	1,62	1,26	1,14	0,90	0,84	0,72	0,60	0,54	0,48	0,42
	10	2,22	1,68	1,44	1,26	1,08	0,96	0,84	0,72	0,66	0,57

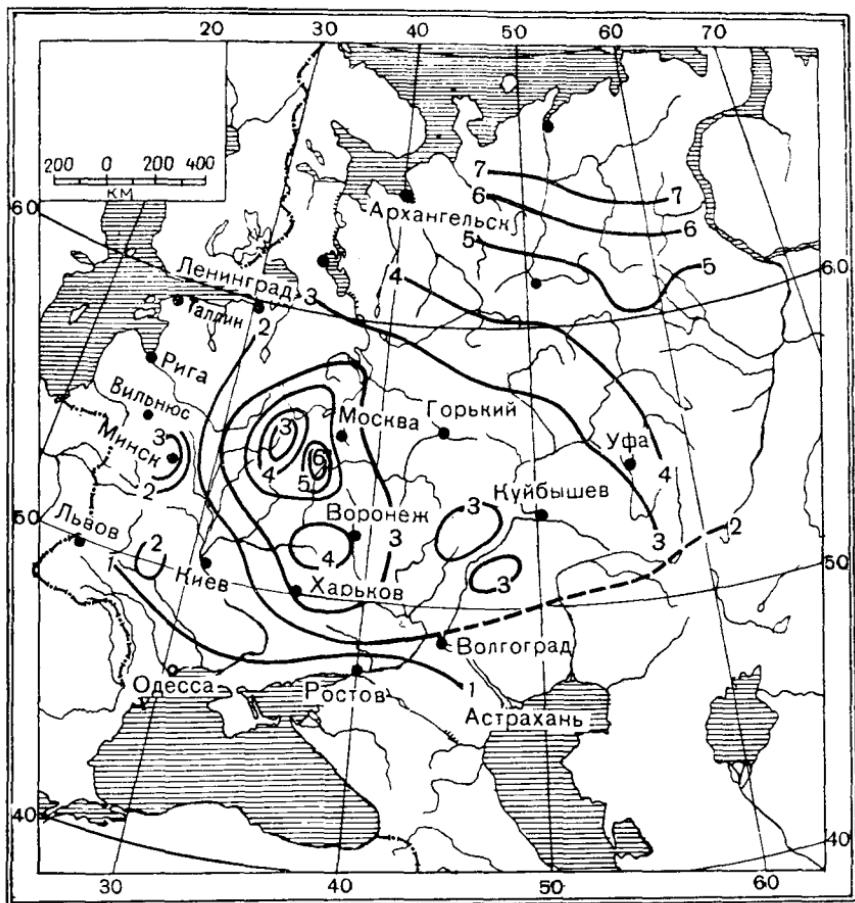


Рис. 5—6. Карта изолиний параметра  $A_{ср}$ , входящего в формулу Д. Л. Соловьевского (15)

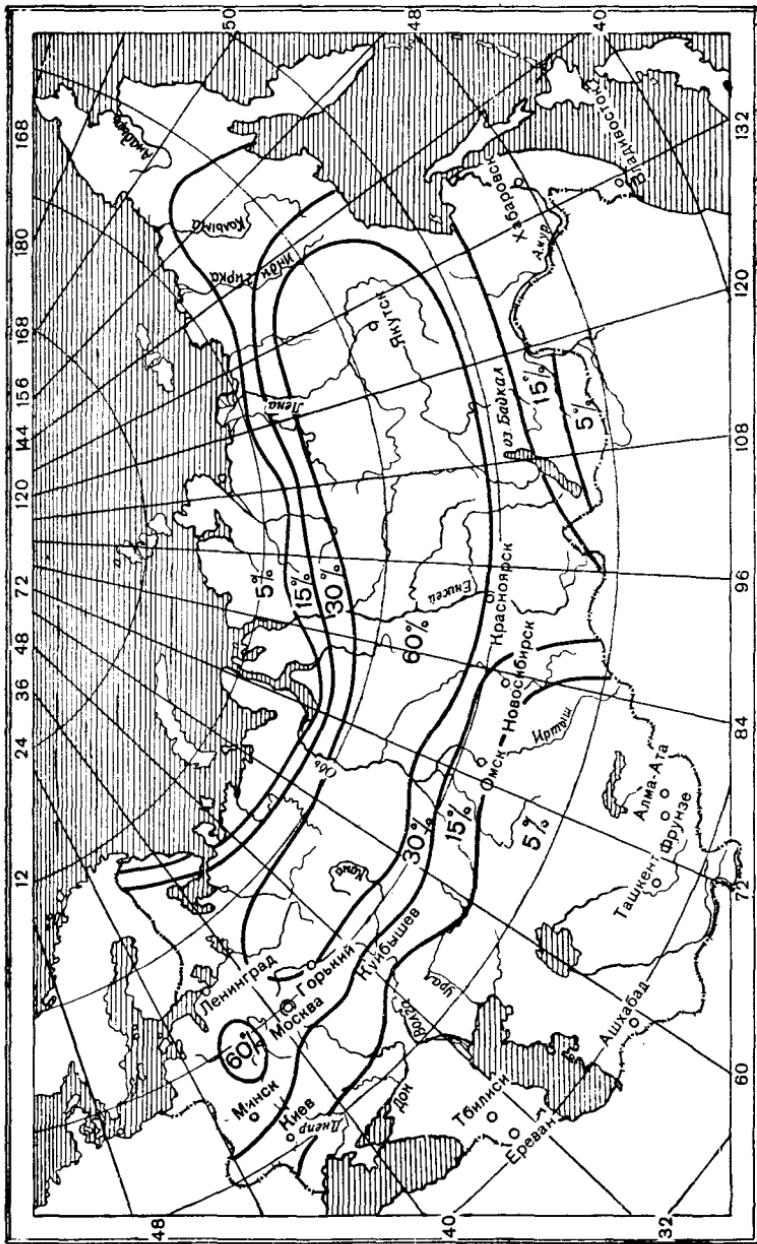


Рис. 5—7. Карта средней заселенности районов

$\delta$  — коэффициент, учитывающий регулирующее влияние озер и болот, определяется по формуле

$$\delta = 1,0 - 0,61 \lg (1 + 0,62 O_3 + 0,065 B); \quad (5-16)$$

$O_3$ ,  $B$  — озерность и заболоченность в процентах от площади водосбора;

$\delta'$  — коэффициент, учитывающий влияние залесенности бассейна, определяется по формуле

$$\delta' = 1 - \frac{K\bar{L} - K_{cp}\bar{L}_{cp}}{100}; \quad (5-17)$$

$L$  — залесенность в процентах от общей площади бассейна;  $\bar{L}_{cp}$  — средняя залесенность района в процентах (рис. 5—7);

$K$  — коэффициент, учитывающий густоту леса: для густых таежных лесов  $K = 0,60$ , для лесов средней густоты — 0,45, для редких — 0,30;

$K_{cp}$  — то же для лесов, преобладающих в данном районе, устанавливаемый по литературным источникам.

Максимальный расход весеннего половодья заданной обеспеченности  $p\%$  может быть рассчитан по формуле (15), если вместо  $A_{cp}$  подставить параметр  $A_p\%$ .

Значение  $A_p\%$  определяется по соответствующим картам изолиний, но так как карты изолиний составлены только для обеспеченности 1 и 5 %, а нормативные проценты обеспеченности для лесовозных дорог имеют и другие значения, то определение максимального расхода весеннего половодья заданной обеспеченности может производиться следующим образом.

Определяется коэффициент вариации  $C_v$  максимальных расходов. При отсутствии данных многолетних наблюдений  $C_v$  определяется по картам изолиний (рис. 5—8) или по эмпирическим формулам [73]. При наличии же таких данных вычисление производится по формуле

$$C_v = \sqrt{\sqrt{\frac{\sum_{1}^n (K-1)^2}{n-1}}}, \quad (5-18)$$

где  $K = \frac{Q}{Q_{cp}}$  — модульный коэффициент, т. е. отношение величины данного члена ряда к среднеарифметической всего ряда;

$n$  — число членов ряда.

Вычисляется также коэффициент асимметрии ряда  $C_s$ , характеризующий очертания кривой распределения, по формуле

$$C_s = \frac{\sum_{1}^n (K-1)^3}{nC_v^3}. \quad (5-19)$$

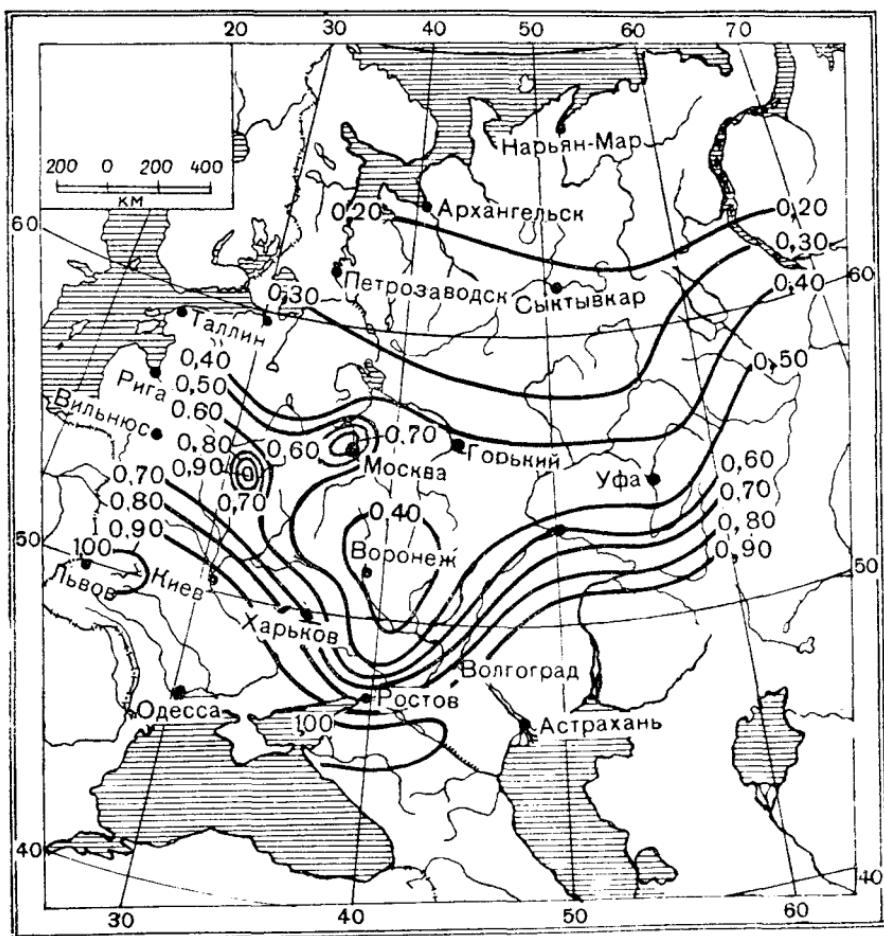


Рис. 5—8. Карта изолиний коэффициента вариации максимальных расходов весеннего стока

При отсутствии достаточно длинного ряда вместо формулы (19) рекомендуется принимать соотношение

$$C_s = 2C_v. \quad (5-20)$$

Максимальный расход весеннего половодья заданной обеспеченности  $p\%$  определяется по формуле

$$Q_{\max(p\%)} = Q_{\max(\text{ср})} K_{p\%}, \quad (5-21)$$

где  $Q_{\max(\text{ср})}$  — среднее значение максимального расхода, определенное по формуле (15);

$K_{p\%}$  — модульный коэффициент заданной обеспеченности (по С. Н. Крицкому и М. Ф. Менкелю).

Численное значение  $K_p$  берется из табл. 5—8 в зависимости от  $C_v$  и  $C_s$ .

Таблица 5—8

Коэффициент вариации, $C_v$	$C_s = 2,0 C_v$					$C_s = 1,5 C_v$				
	Обеспеченность $p, \%$					Обеспеченность $p, \%$				
	1	3	5	10	20	1	3	5	10	20
0,05	1,12	1,10	1,08	1,06	1,04	1,18	1,14	1,12	0,09	1,06
0,10	1,25	1,20	1,17	1,13	1,08	1,24	1,19	1,17	1,13	1,10
0,15	1,38	1,30	1,26	1,20	1,12	1,37	1,30	1,26	1,20	1,12
0,20	1,52	1,41	1,35	1,26	1,16	1,51	1,40	1,34	1,26	1,17
0,25	1,67	1,50	1,44	1,33	1,20	1,65	1,51	1,44	1,33	1,21
0,30	1,82	1,64	1,54	1,40	1,24	1,79	1,62	1,53	1,40	1,25
0,35	1,99	1,75	1,64	1,47	1,28	1,95	1,73	1,62	1,46	1,28
0,40	2,16	1,87	1,74	1,54	1,31	2,09	1,85	1,72	1,54	1,32
0,45	2,33	2,00	1,84	1,60	1,34	2,26	1,91	1,82	1,60	1,36
0,50	2,51	2,13	1,94	1,67	1,38	2,41	2,10	1,92	1,69	1,41
0,55	2,70	2,26	2,04	1,74	1,41	2,60	2,20	2,02	1,74	1,43
0,60	2,89	2,39	2,15	1,80	1,44	2,76	2,34	2,13	1,82	1,48
0,65	3,09	2,52	2,25	1,87	1,47	2,95	2,46	2,22	1,87	1,50
0,70	3,29	2,66	2,36	1,94	1,50	3,11	2,61	2,35	1,96	1,55
0,75	3,50	2,80	2,46	2,00	1,52	3,33	2,72	2,42	2,00	1,54
0,80	3,71	2,94	2,57	2,06	1,54	3,49	2,87	2,56	2,11	1,61
0,85	3,93	3,08	2,68	2,13	1,56	3,70	3,00	2,63	2,14	1,62
0,90	4,15	3,21	2,78	2,19	1,58	3,90	3,17	2,80	2,27	1,67
0,95	4,38	3,36	2,89	2,25	1,59	4,11	3,25	2,85	2,32	1,68
1,00	4,61	3,51	3,00	2,30	1,61	4,31	3,47	3,05	2,42	1,72
1,10	5,06	3,79	3,21	2,41	1,62	4,73	3,80	3,28	2,56	1,75
1,20	5,50	4,05	3,45	2,50	1,62	5,16	4,10	3,54	2,70	1,77

Входящее в формулу (15) выражение  $F^{1-n}$  может быть вычислено графически при помощи номограммы рис. 5—9.

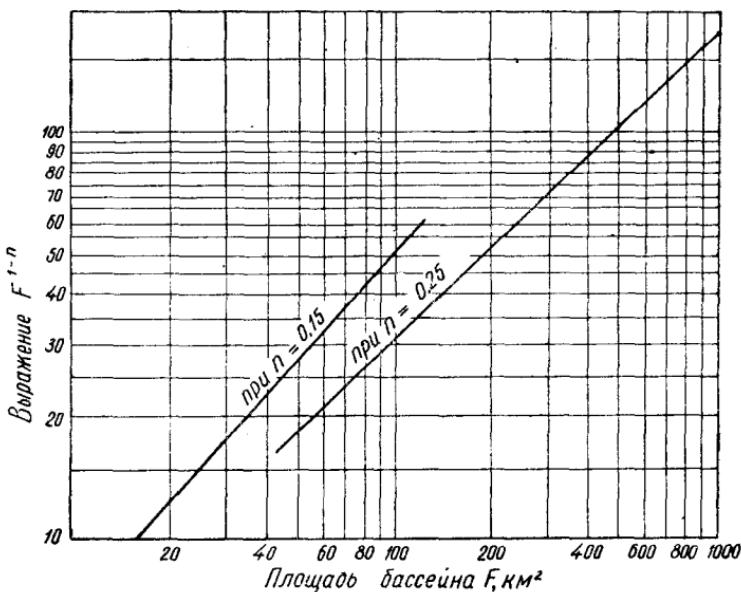


Рис. 5—9. Номограмма для определения величины  $F^{1-n}$ , входящей в формулу (15)

Определение максимальных расходов снегового стока можно производить также по формуле Д. Л. Соколовского, представленной в виде

$$Q_{\max} = C_p F^{1-n} \delta_f \delta' \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (5-15a)$$

где  $C_p$  — элементарный модуль снегового стока заданной обеспеченности, определяемой по картам изолиний, представленным на рис. 10—12 этой главы;

$\delta_f$  — коэффициент, учитывающий увеличение элементарного модуля снегового стока для водосбора малых площадей (в условиях БССР  $\delta_f = 1,25 - 1,90$ ). Остальные обозначения прежние.

### 5—3. РАСЧЕТ ОТВЕРСТИЙ МАЛЫХ МОСТОВ

При расчете отверстий малых мостов в первую очередь устанавливаются бытовые условия, т. е. условия нестесенного потока — бытовая глубина  $h_b$  и бытовая скорость  $v_b$ .

Бытовая глубина определяется подбором, путем построения кривой расходов. Для построения кривой расходов обычно за-

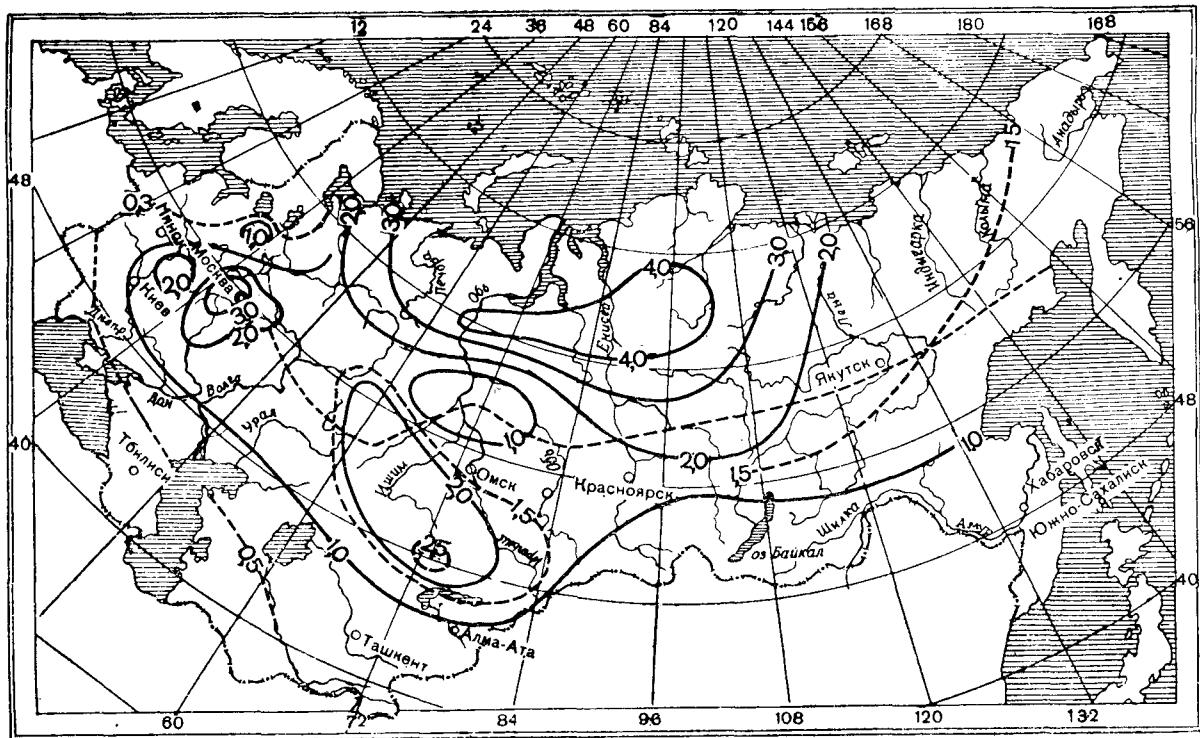


Рис. 5—10. Карта изолиний элементарного модуля снегового стока  $C_{1\%}$

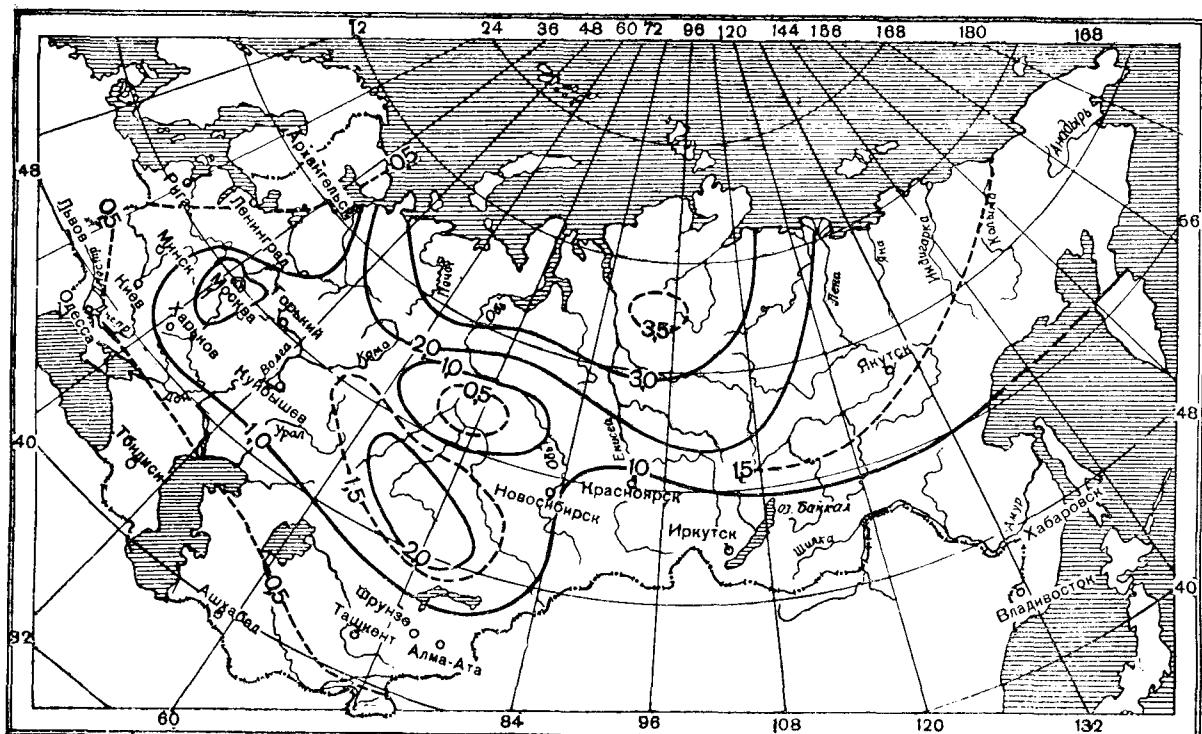


Рис. 5—11. Карта изолиний элементарного модуля снегового стока  $C_{2\%}$

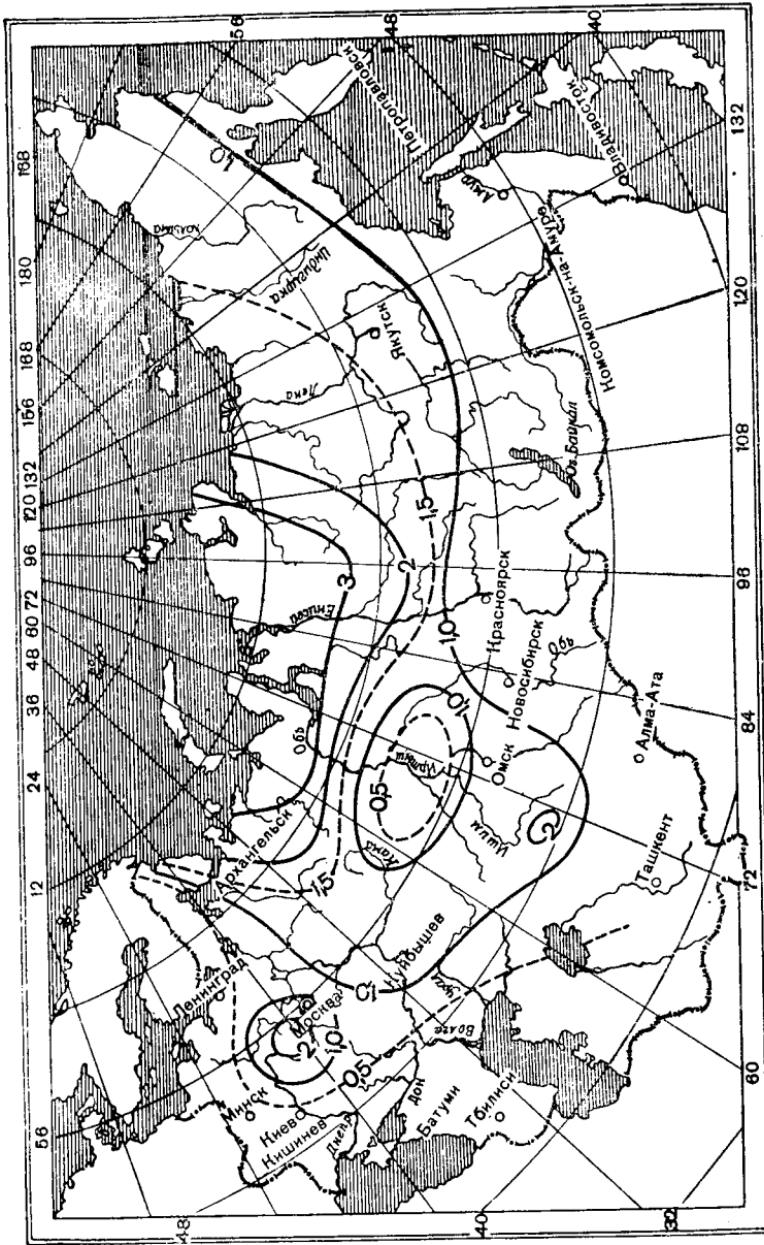


Рис. 5—12. Карта изолиний элементарного модуля снегового стока  $C_{4\%}$

даются несколькими значениями глубины потока  $h$  и на попечное сечение лога наносят горизонты воды ( $\Gamma B$ ). При каждом горизонте вычисляются гидравлические характеристики живых сечений: площадь  $\omega$ , смоченный периметр  $\chi$ , гидравлический радиус  $R$ .

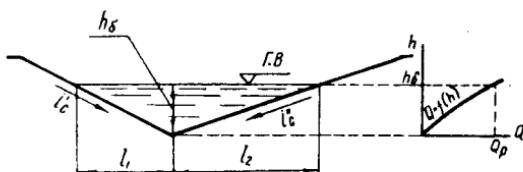


Рис. 5—13. Схема поперечного сечения лога и кривая расходов

При треугольной форме русла (рис. 5—13) эти характеристики, к примеру, можно определить по следующим формулам:  
площадь живого сечения

$$\omega = \frac{h^2}{2} \left( \frac{1}{i'_c} + \frac{1}{i''_c} \right) m^2, \quad (5-22)$$

где  $i'_c$ ,  $i''_c$  — уклоны склонов, выраженные десятичной дробью; смоченный периметр

$$\chi = h \left[ \sqrt{1 + (i'_c)^{-2}} + \sqrt{1 + (i''_c)^{-2}} \right] m; \quad (5-23)$$

гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad (5-24)$$

средняя скорость потока

$$v = C \sqrt{R i_0} \text{ м/сек}, \quad (5-25)$$

где  $i_0$  — продольный уклон лога перед сооружением;  
 $C$  — коэффициент Шези, определяемый по Н. Н. Павловскому;

$$C = \frac{1}{n} R^y. \quad (5-26)$$

Здесь  $n$  — коэффициент шероховатости русла, учитывающий состояние поверхности последнего:

земляные стенки в обычном состоянии . . . . .  $n = 0,0225$   
хорошее состояние поверхности русла, ровное без

местных углублений . . . . .  $n = 0,0330$

земляное русло в относительно хороших усло-

виях, частично заросшее, слабоизвилистое . . . . .  $n = 0,0400$

засоренное и заросшее русло . . . . .  $n = 0,0500$

$y$  — показатель степени, среднее значение которого в зависимости от коэффициента шероховатости  $n$  и гидравлического радиуса  $R$  приведено в табл. 5—9.

Таблица 5—9

Пределы измерения коэффициента шероховатости $n$	Значение $y$ при гидравлическом радиусе	
	$R < 1 \text{ м}$	$R > 1 \text{ м}$
0,011—0,013	0,165	0,150
0,015—0,018	0,185	0,167
0,018—0,020	0,200	0,185
0,022—0,025	0,225	0,200
0,025—0,030	0,250	0,225
0,030—0,040	—	0,250

Вычислив площадь живого сечения (22) и среднюю скорость потока (25), можно перейти к определению расходов воды при заданных горизонтах. Очевидно, что

$$Q = \omega v \text{ м}^3/\text{сек}. \quad (5-27)$$

На основании полученных данных в прямоугольных координатах строим кривую  $Q = f(h)$  и по этой кривой при заданном значении расчетного расхода  $Q_p$  находим бытовую глубину  $h_b$ .

После определения  $h_b$  вычисляется критическая глубина потока  $h_k$ . Способ вычисления зависит от формы подмостового сечения.

Для трапецеидальных сечений отверстий малых мостов

$$h_k = \frac{B_k - \sqrt{B_k^2 - 4m\omega_k}}{2m}, \quad (5-28)$$

где  $m$  — коэффициент откосов;

$B_k$  — ширина свободной поверхности водотока в отверстии моста, определяемая при любой форме сечения русла по формуле

$$B_k = \frac{gQ}{\alpha \varepsilon v_d^3} m; \quad (5-29)$$

$\alpha$  — коэффициент кинетической энергии, равный 1,0—1,1;

$g$  — ускорение свободного падения,  $9,81 \text{ м/сек}^2$ ;

$\varepsilon$  — коэффициент бокового сжатия, зависящий от формы устоев; при устоях в виде конусов — 0,90, с откосными крыльями — 0,85, с выступающими конусами — 0,80;

$v$  — допускаемая скорость воды в сооружении, зависящая от типа грунта, принятого укрепления дна и глубины потока (табл. 5—10);

Таблица 5—10

Наименование грунтов, или типы укреплений	Размер частиц грунта, м.м.	Допускаемые средние скорости течения ( $м/сек$ ) при средней глубине потока, м			
		0,4	1,0	2,0	3,0
Пыль и ил . . . . .	0,05—0,05	0,2	0,3	0,4	0,4
Песок мелкий . . . . .	0,5—0,25	0,3	0,4	0,5	0,6
« средний . . . . .	0,25—10	0,5	0,6	0,7	0,7
« крупный . . . . .	1,0—2,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Гравий мелкий . . . . .	2,5—5,0	0,8	0,8	1,0	1,1
» средний . . . . .	5,0—10	0,9	1,0	1,1	1,3
» крупный . . . . .	10—15	1,1	1,2	1,3	1,5
Галька мелкая . . . . .	15—25	1,2	1,4	1,6	1,8
» средняя . . . . .	25—40	1,5	1,8	2,1	2,3
» крупная . . . . .	40—75	2,0	2,4	2,7	3,1
Булыжник мелкий . . . . .	75—100	2,4	2,8	3,2	3,5
» средний . . . . .	100—150	3,0	3,3	3,7	4,1
» крупный . . . . .	150—200	3,5	3,8	4,3	4,6
Валуны мелкие . . . . .	200—300	3,8	4,3	4,7	4,9
» средние . . . . .	300—400	—	4,7	4,9	5,8
» крупные . . . . .	более 400	—	—	5,3	5,5
Лёссовые грунты средней плотности . . . . .	—	0,6	0,7	0,8	0,8
Лёссовые грунты плотные . . . . .	—	0,8	1,0	1,2	1,3
Глины и суглинки малоплотные . . . . .	—	0,35	0,40	0,45	0,50
Глины и суглинки средней плотности . . . . .	—	0,70	0,85	0,95	1,10
Глины и суглинки плотные . . . . .	—	1,10	1,20	1,40	1,50
Конгломерат, мергель, сланцы . . . . .	—	2,0	2,5	3,0	3,5
Пористый и слоистый известняк, доломит и слабый песчаник . . . . .	—	3,0	3,5	4,0	4,5
Доломитовый песчаник, кремнистый . . . . .	—	4,0	5,0	6,0	6,5
Граниты, диабазы, базальты, андезиты, кварциты, порфиры . . . . .	—	15	18	20	22
Одерновка плашмя . . . . .	—	0,9	1,2	1,3	1,4
Одерновка в стенку . . . . .	—	1,5	1,8	2,0	—
Одиночное мещение по мху из булыжника размером 15 см . . . . .	—	2,0	2,5	3,0	3,5
Одиночное мещение из рваного камня размером 15 см . . . . .	—	2,5	3,0	3,5	4,0
Хвостяная выстилка $h = 20—25$ см . . . . .	—	—	2,0	2,5	—
Бутовая кладка . . . . .	—	6,5	8,0	10,0	12,0
Бетон . . . . .	—	5,0	6,0	7,0	7,5
Деревянные лотки . . . . .	—	8	10	12	14

Наименование ресурсов	Единицы измерения	Мосты однопролетные из плит сплошного сечения					
		На стоечных опорах при пролетах, м			На свайных опорах при пролетах, м		
		4	5	6	4	5	6
Земляные работы	м <sup>3</sup>	100	100	100	—	—	—
Железобетонные и бетонные работы, сборные и монолитные	м <sup>3</sup>	21,85	25,02	27,12	19,13	22,15	25,09
Изоляция битумом	м <sup>2</sup>	—	—	—	—	—	—
Стоимость (базисная) одного сооружения	руб.	1090	1220	1377	974	1127	1310

в) для прямоугольного сечения

$$h'_k = \frac{\alpha v_{\Phi}^2}{g}. \quad (5-33a)$$

Фактическую скорость воды под мостом  $v_{\Phi}$  и полученную при этом критическую глубину  $h'_k$  сравниваем с  $v_b$  и  $h_b$  и проверяем, остался ли водослив после округления величины подмостового отверстия по-прежнему работать по схеме незатопленного или же режим протекания воды в сооружении изменился.

При незатопленном водосливе подпор воды перед мостом является функцией критической глубины и определяется по формулам:

а) для трапецидальных отверстий

$$H = h'_k + \frac{\omega_{\Phi}}{2B_{T\Phi}^2}; \quad (5-37)$$

б) для треугольных и прямоугольных

$$H = \frac{h'_k}{K_k}, \quad (5-38)$$

где  $K_k = \frac{2\varphi^2}{1+2\varphi^2}$  — коэффициент для прямоугольных отверстий;

$K_k = \frac{4\varphi^2}{1+4\varphi^2}$  — коэффициент для треугольных отверстий;

$\varphi$  — коэффициент скорости, учитывающий потери энергии и зависящий от формы береговых устоев; при обычных конусах он равен 0,90, при устоях с откосными крыльями — 0,90, при устоях с выступающими конусами — 0,85.

Таблица 5—11

Мосты однопролетные с предварительно напряженной арматурой								Мосты двухпролетные на свайных опорах с предварительно напряженной арматурой при пролетах, м			
На рамных опорах при пролетах, м				На свайных опорах при пролетах, м				2 × 4	2 × 5	2 × 6	2 × 8
4	5	6	8	4	5	6	7				
90	90	90	101	15	15	16	26	22	22	23	33
10,81	12,88	15,06	20,66	13,88	15,96	18,16	23,75	22,92	26,89	31,19	41,96
47	47	47	47	21	21	21	21	21	21	21	21
645	750	680	1170	720	830	950	1260	1260	1510	1750	2360

Величина отверстия малого моста, работающего по схеме затопленного водослива, определяется по формуле

$$B = \frac{Q}{\epsilon h_6 v_d} + m h_6. \quad (5-39)$$

Причем для прямоугольных отверстий коэффициент откоса  $m = 0$ . Далее производится округление полученного значения отверстия до ближайшего типового размера  $B_t$  и определяется фактическая скорость воды под мостом  $v_\phi$  при принятой ширине отверстия, а именно:

$$v_\phi = \frac{Q}{\epsilon (B - m h_6) h_6}. \quad (5-40)$$

Подпор воды перед мостом в этом случае вычисляется по формуле

$$H = h_6 + \frac{v_\phi^2}{2 g \varphi^2}. \quad (5-37a)$$

Следует отметить, что в том случае, когда допускаемая скорость воды в сооружении меньше бытовой, т. е.  $v_d < v_b$ , мост не должен стеснять поток. Отверстие моста назначается по ширине нестесненного потока при расчетном горизонте.

Расчет отверстий малых искусственных сооружений может производиться с учетом аккумуляции воды перед ними. В этом случае необходимы следующие данные:

- расход  $Q_{max}$  и объем стока  $W$  принятой обеспеченности;
- план в горизонталях местности перед сооружением;
- график водопропускной способности моста.

Расход в сооружении вычисляется по формуле

$$Q_{coop} = Q_{max} \left(1 - \frac{W_{ak}}{W}\right), \quad (5-41)$$

где  $W_{ak}$  — объем воды, аккумулирующейся перед сооружением, который определяется по плану пазухи перед сооружением в горизонталах в зависимости от величины подпора  $y$ .

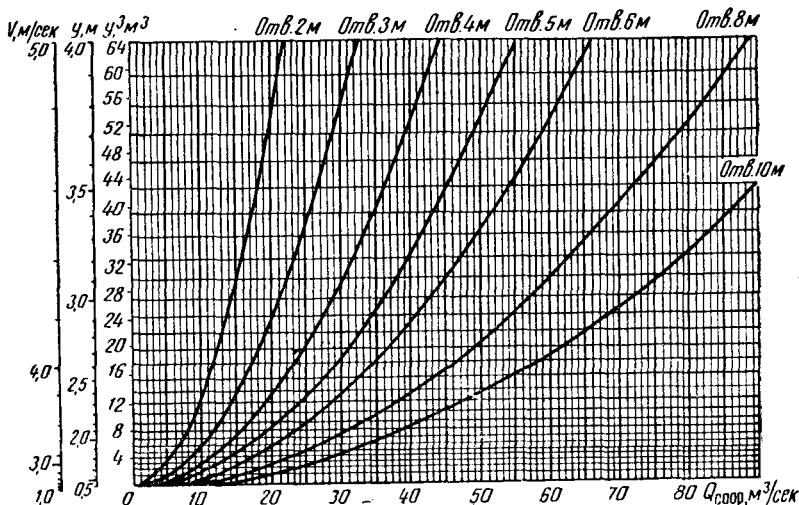


Рис. 5—17. График пропускной способности малых мостов (для расчета отверстий с учетом аккумуляции)

Задаваясь различной величиной подпора (над отметкой входа) и вычисляя  $Q_{coop}$ , устанавливаем зависимость  $Q_{coop} = f(h)$ . После этого по графику (рис. 5—17), сообразуясь с технико-экономическими показателями отдельных вариантов, выбираются размер отверстия и род укрепления дна.

#### 5—4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ ВОДОПРОПУСКНЫХ ДОРОЖНЫХ ТРУБ

Применяемые на автомобильных лесовозных дорогах трубы [76] по форме поперечного сечения бывают *круглые*, *прямоугольные* и *треугольные* (рис. 5—18), а входные оголовки труб (рис. 5—19) — *портальные*, *раструбные*, *воротниковые* и *обтекаемые*.

В зависимости от величины расхода воды  $Q$  и отверстия

трубы  $\phi$  последние могут работать как *безнапорные, полуна-порные и напорные* (рис. 5—20).

*Безнапорный* режим устанавливается в трубе при условии, если напор воды  $H$  перед трубой не превышает 1,2 высоты трубы  $h_t$ . Безнапорные трубы в зависимости от соотношения критической и бытовой глубин рассчитываются по схеме незатопленного и затопленного водосливов с широким порогом. Схему незатопленного водослива следует применять при условии, если  $1,3h_k \geq h_b$ , а затопленного, — если  $1,3h_k < h_b$ .

Для *полунапорного* режима работы характерным является то, что на отдельных участках сечение трубы перекрывается потоком воды по всему периметру, другие же участки имеют свободную поверхность. Этот режим обычно устанавливается, если  $1,2h_t \leq H \leq 1,4h_t$ .

К *напорным* относятся трубы, которые работают полным сече-

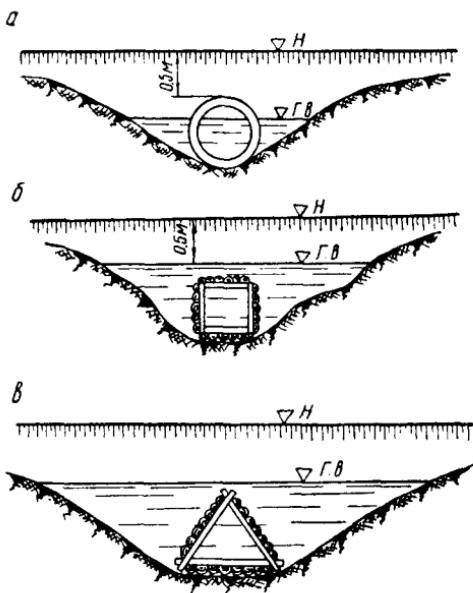


Рис. 5—18. Поперечные сечения водопропускных труб:

а — круглой трубы (безнапорной); б — прямоугольной (напорной); в — треугольной (напорной)

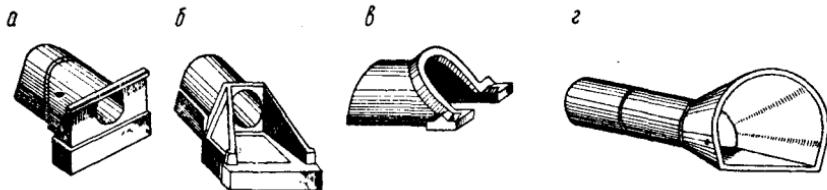


Рис. 5—19. Типы оголовков труб:

а — порталный; б — растрubный; в — воротниковый; г — обтекаемый

нием на всем их протяжении. В этом случае  $H \geq 1,4h_t$ .

Основными задачами гидравлического расчета труб являются: определение размеров отверстия, продольного уклона, формы отверстия и степени заполнения.

4

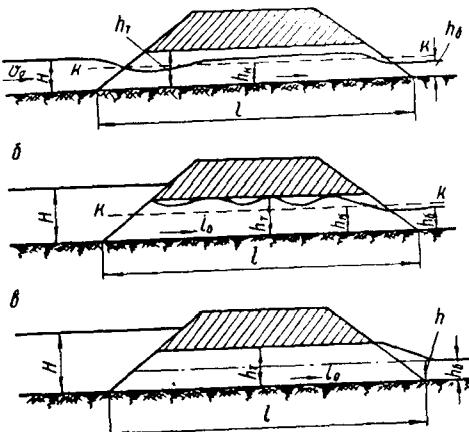


Рис. 5—20. Режимы протекания воды через трубы:  
а — безнапорный; б — полунапорный; в — напорный

### 1. Незатопленные безнапорные трубы

При расчете незатопленных безнапорных труб вычисляется:  
а) критическая глубина воды

$$h_k = K_{1k} h; \quad (5-42)$$

б) высота прямоугольной или диаметр круглой трубы

$$h_k = K_{3k} \sqrt[5]{\frac{aQ^2}{g\varepsilon^2}}, \quad (5-43)$$

где  $K_{1k}$ ,  $K_{3k}$ ,  $K_{4k}$  — коэффициенты, учитывающие форму отверстий, сопротивление потока и степень наполнения трубы; для прямоугольных труб они приведены в табл. 5—12, для круглых — в табл. 5—13;

в) критический продольный уклон трубы

$$i_k = K_{4k} \frac{gn^2}{a^3 \sqrt{h_t}}, \quad (5-44)$$

где  $n$  — коэффициент шероховатости, для бетона равный, например, 0,015—0,017.

Значение коэффициента скорости  $\varphi$  можно принимать равным:

для труб без оголовков . . . . .	0,83
для труб с раструбными оголовками . . . . .	0,89
для труб с обтекаемыми оголовками . . . . .	0,95

Таблица 5—12

Коэффициент наполнения трубы $S_0$	$\varphi$	$K_{1\kappa}$	$m = \frac{h_t}{B}$							
			1,00	1,10	1,33	1,50	1,00	1,10	1,33	1,50
			$K_{3\kappa}$				$K_{4\kappa}$			
0,90	1	0,60	1,36	1,42	1,53	1,60	3,39	3,64	4,23	4,66
	0,9	0,56	1,42	1,48	1,60	1,67	3,30	3,52	4,09	4,50
	0,8	0,50	1,50	1,56	1,68	1,76	3,20	3,39	3,92	4,30
	0,7	0,44	1,63	1,69	1,82	1,91	3,08	3,25	3,72	4,06
0,85	1	0,57	1,41	1,45	1,56	1,64	3,22	3,56	4,12	4,54
	0,9	0,52	1,47	1,53	1,65	1,73	3,24	3,44	3,98	4,38
	0,8	0,48	1,56	1,69	1,76	1,84	3,13	3,31	3,81	4,18
	0,7	0,42	1,69	1,75	1,89	1,98	3,02	3,18	3,62	3,94
0,80	1	0,53	1,45	1,52	1,64	1,72	3,24	3,46	3,98	4,38
	0,9	0,49	1,52	1,58	1,71	1,79	3,15	3,38	3,85	4,22
	0,8	0,45	1,61	1,67	1,80	1,89	3,08	3,27	3,72	4,06
	0,7	0,40	1,75	1,82	1,97	2,06	2,98	3,13	3,56	3,87

Напор перед трубой определится из выражения

$$H = S_0 h_t, \quad (5-45)$$

где  $S_0$  — коэффициент наполнения трубы.

Расчет незатопленных безнапорных труб производится в следующем порядке:

1. Принимается степень наполнения  $S_0$ , а для прямоугольных труб, кроме того, и коэффициент формы поперечного сечения  $m$ , который показывает отношение высоты трубы  $h_t$  к ее ширине  $B$ .

2. Зная  $S_0$ ,  $m$  и  $\varphi$ , по табл. 12 и 13 можно определить коэффициенты  $K_{n\kappa}$ .

3. По формуле (43) вычисляется высота (диаметр) трубы, которая округляется до ближайшей стандартной. Для прямоугольных труб по высоте  $h_t$  и коэффициенту формы  $m$  определяется искомая ширина.

4. Затем по формуле (42) вычисляется критическая глубина по формуле (44) — критический уклон и по формуле (45) — подпор.

Таблица 5—13

Коэффициент наполнения трубы $S_0$	Коэффициент скорости $\varphi$	Значения коэффициентов		
		$K_{1к}$	$K_{3к}$	$K_{4к}$
0,90	1	0,63	1,47	2,90
	0,9	0,60	1,54	2,74
	0,8	0,55	1,63	2,59
	0,7	0,50	1,76	2,48
0,85	1	0,60	1,52	2,77
	0,9	0,57	1,60	2,62
	0,8	0,52	1,69	2,53
	0,7	0,47	1,83	2,44
0,80	1	0,57	1,59	2,64
	0,9	0,54	1,67	2,56
	0,8	0,50	1,76	2,47
	0,7	0,45	1,89	2,40

## 2. Затопленные безнапорные трубы

Отверстие затопленных безнапорных труб удобно определять с помощью графиков рис. 5—21. Для этого сначала вычисляется ордината

$$y = \frac{\alpha Q^2}{2g\epsilon^2\varphi^2 h_6^5}, \quad (5-46)$$

а затем по  $y$  и коэффициенту наполнения трубы  $S_0$ , которым необходимо задаться, находим абсциссу  $x$ .

Для круглых труб  $x$  представляет отношение диаметра к бытовой глубине  $h_6$ , т. е.

$$x = \frac{d}{h_6}, \quad (5-47)$$

а для прямоугольных

$$x = \frac{h_t}{h_6}. \quad (5-48)$$

Из этих отношений легко определяются искомые величины.

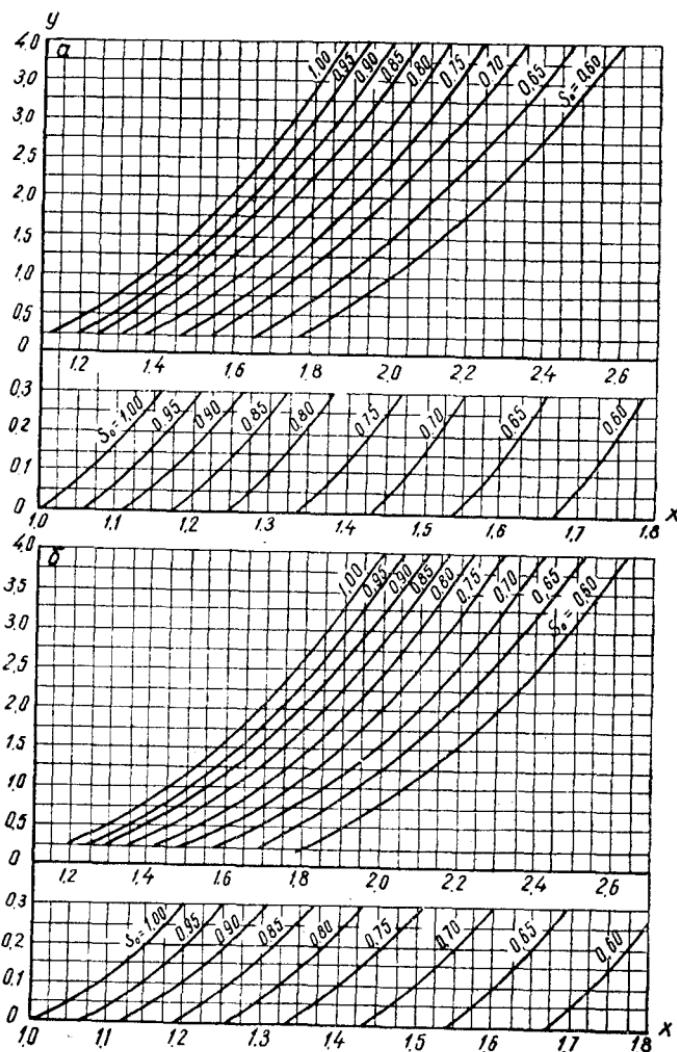


Рис. 5—21. График для расчета затопленных безнапорных труб:

*a* — прямоугольных; *b* — круглых

### 3. Полунапорные трубы

Площади поперечного сечения полунапорных труб определяются по формуле

$$\omega = \frac{Q}{\varphi \varepsilon \sqrt{\frac{2g(H - \varepsilon h_r)}}}, \quad (5-49)$$

где  $\varphi$ ,  $\varepsilon$  — коэффициенты скорости и сжатия для полунапорных труб, принимаемые: для обтекаемых головок  $\varphi = 0,95$ , для необтекаемых  $\varphi = 0,85$ , для прямоугольных труб  $\varepsilon = 0,6$ , для круглых  $\varepsilon = 0,65$ ;

$H$  — подпор воды перед входным отверстием трубы, равный

$$H = \varepsilon h_r + \frac{v^2}{2g\varphi^2}. \quad (5-50)$$

### 4. Напорные трубы

Напорные трубы рассчитываются по допускаемому напору и скорости воды в трубе.

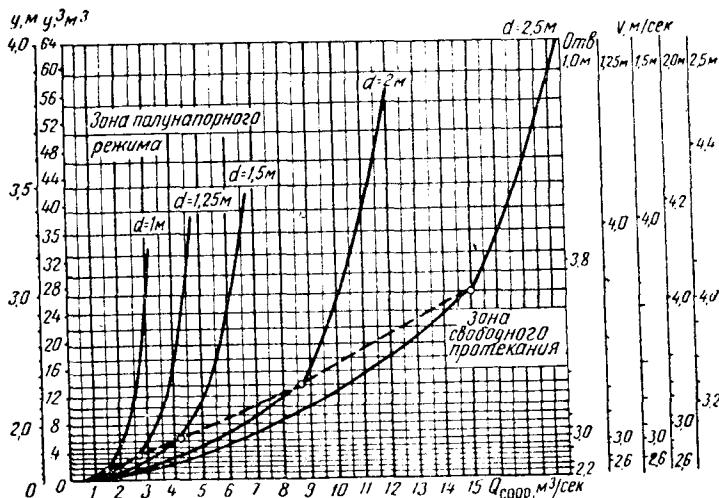


Рис. 5—22. График пропускной способности круглых труб 1—2,5 м  
(для расчета отверстий с учетом аккумуляции)

Расчетной формулой в этом случае является

$$Q = \varphi \omega \sqrt{2g [H - h + l(i_w - i_0)]}, \quad (5-51)$$

где  $i_0$  — уклон дна трубы;  
 $i_w$  — уклон трения;  
 $l$  — длина трубы, м;

$h$  — расстояние по вертикали в конечном сечении трубы от ее нижней кромки до пьезометрической линии:

$$\text{при } h_6 \leq \frac{h_t}{2} \quad h = \frac{h_t}{2}, \text{ а при } h_6 > \frac{h_t}{2} \quad h = h_6;$$

$H$  — подпор воды перед трубой, м;

$\varphi$  — коэффициент скорости;

$\omega$  — площадь поперечного сечения трубы.

Из формулы (51) очевидно, что скорость воды в трубе

$$v = \varphi \sqrt{2g[H - h + l(i_w - i_0)]} \text{ м/сек.} \quad (5-52)$$

Уклон напорной трубы  $i_0$  не должен превышать уклона определенного по формуле

$$i_w = \frac{Q^2}{(\omega C V R)^2}, \quad (5-53)$$

где  $C$  — коэффициент Ше-зи;

$R$  — гидравлический радиус.

Графики пропускной способности напорных труб, которые удобно использовать при расчете отверстий с учетом аккумуляции воды, в зависимости от величины подпора  $y$  (над входной отметкой) приведены: круглых — на рис. 5—22, прямоугольных — на рис. 5—23.

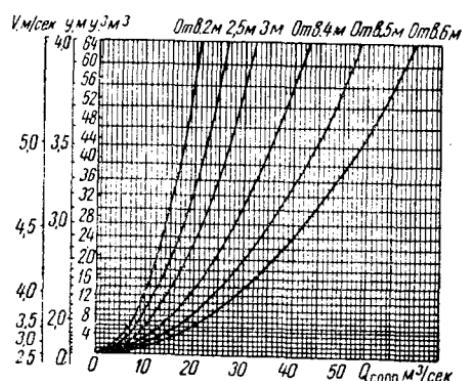


Рис. 5—23. График пропускной способности прямоугольных труб с отверстием 2—6 м (для расчета отверстий с учетом аккумуляции)

Таблица 5—14

Круглые трубы				Прямоугольные трубы			
Диаметр, м	Толщина стенки звеньев, см	Вес одного звена, кг	Высота насыпи, м	Сечение трубы, м	Расход материалов на 10 м трубы	бетона, м³	стали, кг
0,50	8	3,67	до 3	2,0×2,50	20,7	2700	6
0,75	8	5,30	до 5	2,0×3,65	27,2	4000	6
1,00	9	7,80	до 6	3,0×2,50	25,7	3300	6
1,25	10	10,80	до 6	3,0×3,65	32,1	4600	6
1,50	12	15,40	до 6	4,0×2,50	32,5	4000	6

На основании расчета отверстия производится выбор труб. Рекомендуется [12] подбирать типовые трубы, для которых имеются расчеты на прочность и производство которых налажено на специализированных железобетонных заводах.

В качестве типовых под погрузку Н-13 применяются трубы, приведенные в табл. 5—14.

Если типовая труба оказывается недостаточной для того, чтобы обеспечить пропуск воды в установленном объеме, то следует устраивать многоочковую трубу.

## 5—5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТВЕРСТИЙ МОСТОВ ЧЕРЕЗ БОЛЬШИЕ ВОДОТОКИ

К гидравлическим расчетам больших мостов [13] относится определение величины площади поперечного сечения потока под мостом и расстояния между береговыми устоями. При решении этих вопросов пользуются эмпирическими формулами и методами, в основу которых положены морфологические характеристики русла реки и речных пойм.

В практике проектирования больших мостов распространение получил метод расчета по гидравлическим эквивалентам.

Согласно этому методу, площадь поперечного сечения потока определяется по формуле

$$\omega_m = \omega_p + \omega_b + \omega_v, \quad (5-54)$$

где  $\omega_p$  — рабочая площадь,  $m^2$ ;

$\omega_b$  — площадь, занятая мостовыми опорами,  $m^2$ ;

$\omega_v$  — площадь вихревых нерабочих зон, которые прилегают к стенкам опор,  $m^2$ .

Для определения рабочей площади используется выражение

$$\omega_p = \frac{m'}{\mu} (\omega_0 + K_1 \omega_1 + K_2 \omega_2), \quad (5-55)$$

где  $m'$  — коэффициент изменения бытовых условий при стеснении поймы: при слабых илистых грунтах  $m' = 0,95$ ; при суглинистых среднеразмываемых  $m' = 0,90$ ; при прочих глинистых и галечных грунтах  $m' = 0,85$ ;

$\mu$  — коэффициент сжатия потока под мостом ( $0,8-1,0$ );

$\omega_0$  — площадь живого сечения главного русла при горизонте высоких вод ( $ГВВ$ ),  $m^2$ ;

$\omega_1, \omega_2$  — площади живого сечения пойм,  $m^2$ ;

$K_1, K_2$  — коэффициенты гидравлической эквивалентности пойм, определяемые из выражений:

$$K_1 = \frac{\frac{n_0 H_1^{\frac{2}{3}}}{\frac{2}{3}}}{n_1 H_0^{\frac{2}{3}}}; \quad K_2 = \frac{\frac{n_0 H_2^{\frac{2}{3}}}{\frac{2}{3}}}{n_2 H_0^{\frac{2}{3}}}. \quad (5-56)$$

Здесь  $n_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  — коэффициенты шероховатости главного русла и пойм [см. пояснение к формуле (26)];  $H_0$ ,  $H_1$ ,  $H_2$  — средние глубины главного русла и пойм, определяемые путем деления площадей живого сечения  $\omega$  на ширину потока по зеркалу  $B$ .

Отверстие моста определяется по формуле

$$B = \frac{\omega_p}{\rho H_m}, \quad (5-57)$$

где  $\rho$  — коэффициент размыва, который при большом заглублении опор может приниматься равным 1,3—1,4, при свайных опорах — 1,1 и при ряжевых — 1,05;  $H_m$  — средняя глубина под мостом при бытовых условиях.

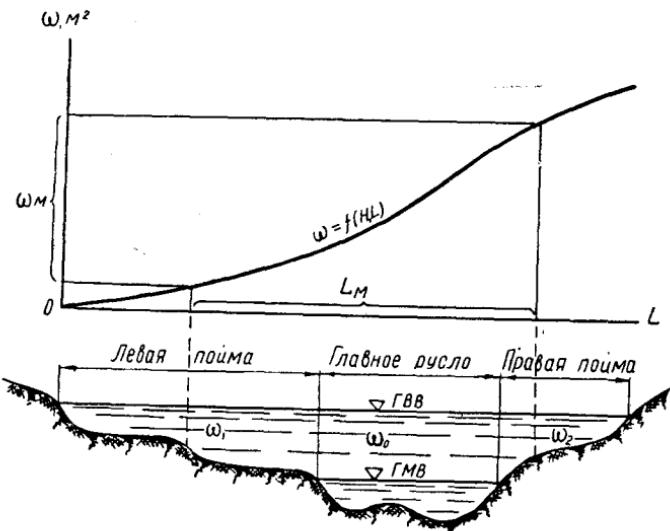


Рис. 5-24. Живое сечение русла реки и график накопления площадей

Расстояние между береговыми устоями

$$L_m = B + n_{op}d \text{ м}, \quad (5-58)$$

где  $n_{op}$  — число опор;

$d$  — ширина опоры, м.

Для определения положения моста относительно главного русла используют графический метод (рис. 5-24).

В прямоугольных координатах строится интегральный график площади поперечного сечения потока при расчетном горизонте. При построении графика начало координат располагается по урезу воды. Живое сечение потока при расчетном горизонте

разбивается на простейшие фигуры. Определяется площадь каждой фигуры и в координатных осях  $\omega L$  с нарастающим итогом строится кривая  $\omega = f(HL)$ .

Наивыгоднейшее положение моста на пойме будет в том случае, когда необходимая площадь подмостового сечения  $\omega_m$  будет обеспечена при наименьшей величине отверстия.

## 5—6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ НАСЫПИ У ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Высота искусственных сооружений играет большую роль в проектировании продольного профиля дороги.

Минимальная отметка бровки земляного полотна при подходе к мостам зависит от их высоты и определяется по формуле

$$H_n = H + t + K \text{ м}, \quad (5-59)$$

где  $H$  — отметка горизонта воды перед мостом, м;

$t$  — возвышение низа пролетного строения над подпертым горизонтом; для малых мостов минимальное значение на суходолях, несудоходных и несплавных реках — 0,25; над наивысшим ледоходом на реках — 0,75; для больших мостов на несудоходных реках — 1—2 м, на судоходных — 3,5 и более;

$K$  — конструктивная высота пролетных строений.

Основные размеры деревянных однопролетных мостов, применяемых на автомобильных лесовозных дорогах [50], приведены в табл. 5—15.

Таблица 5—15

Пролет в свету, м	Расчетный пролет, м	Длина моста на свайных опорах, м	Строительная высота $K$ (м) для габаритов	
			Г-7	Г-8
1	1,3	2,0	0,41	0,42
2	2,3	3,0	0,46	0,47
3	3,3	4,0	0,49	0,50
4	4,3	5,0	0,52	0,53
5	5,3	6,0	0,55	0,54
6	5,8	6,5	0,57	0,58

Для железобетонных мостов основные параметры приведены в табл. 5—16.

Таблица 5—16

Пролет в свету, м	Расчетный пролет, м	Полная длина пролетного строения, м	Строитель- ная высота <i>K</i> , м
2,0	2,18	2,60	0,36
3,0	3,22	3,60	0,40
4,0	4,26	4,60	0,44
5,0	5,29	5,60	0,47
7,5	8,40	8,66	0,87
10,0	11,10	11,36	0,97
12,5	13,17	14,06	1,02
15,0	16,30	16,76	1,17
20,0	21,60	22,16	1,42

Для снижения высоты насыпи иногда бывает целесообразным заглублять сооружение и устраивать отводящее русло. Однако это возможно лишь в том случае, когда ниже по логу имеется резкое понижение и заливания быть не может.

Отметка бровки земляного полотна над трубой определяется:

а) при применении безнапорных труб по формуле

$$H_n = H_a + h_t + \Delta_d + \Delta h, \quad (5-60)$$

где  $H_a$  — отметка лога, м;

$h_t$  — диаметр (высота для прямоугольных) труб;

$\Delta_d$  — толщина стенок звена (для круглых труб — табл. 14);

$\Delta h$  — минимальное возвышение бровки земляного полотна над трубой, принимаемое обычно не менее 0,5 м;

б) при применении напорных и полунапорных труб по формуле

$$H_n = H + \Delta h, \quad (5-61)$$

где  $H$  — отметка подпертого горизонта, м.

## 5—7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЛИНЫ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Длина мостов, измеряемая по настилу вдоль дороги, зависит от величины отверстия, высоты насыпи у моста, конструкции моста и способа пересечения трассой долины водотока.

При перпендикулярном пересечении русла обеспечиваются минимальные расходы материалов и стоимость постройки моста. Однако такое пересечение часто ведет к искривлению трассы в плане и ее удлинению.

Наиболее правильное положение моста решается на основании сравнения вариантов и технико-экономических расчетов.

Длина малых мостов при перпендикулярном пересечении трассой водотока определяется по формулам:

1) при устоях с обратными стенками

$$L_m = B + 2mH_m + 2p + 2q, \quad (5-62)$$

где  $B$  — величина отверстия,  $m$ ;

$m$  — коэффициенты откосов конусов;

$H_m$  — высота моста,  $m$ ;

$p$  — расстояние от передней грани устоя до вершины откоса конуса, принимается равным не менее 0,1  $m$ ;

$q$  — расстояние от задней грани устоя до вершины откоса конуса, равное 0,15 — 0,25;

2) при обсыпанных устоях

$$L_m = B + 2m\left(H_m - \frac{h_m}{2}\right) + 2q, \quad (5-63)$$

где  $h_m$  — глубина потока под мостом;

$q$  — расстояние от вершины конуса до начала моста (определяется по проекту моста).

Длина большого моста равна

$$L_m = B + \Sigma d + 2mh_y, \quad (5-64)$$

где  $\Sigma d$  — сумма ширины промежуточных опор; для железобетонных свай  $d = 0,35$   $m$ ;

$m$  — коэффициенты откосов конусов;

$h_y$  — средняя высота устоя. Разность между проектной отметкой и средней отметкой земли в месте предполагаемого устройства устоя.

Длина труб измеряется в направлении главного лога (руслы). Используется при этом формула

$$L_t = L_1 + L_2 + 2M \text{ } m, \quad (5-65)$$

где  $L_1$  — длина трубы с верховой стороны от оси дороги:

$$L_1 = \frac{0,5B + m(H_n - d)}{1 + mi_0} + \frac{q}{2} \text{ } m; \quad (5-66)$$

$L_2$  — длина трубы с низовой стороны от оси дороги:

$$L_2 = \frac{0,5B + m(H_n - d)}{1 - mi_0} + \frac{q}{2} \text{ } m; \quad (5-67)$$

$B$  — ширина земляного полотна,  $m$ ;

$m$  — коэффициент откоса насыпи;

$H_n$  — высота насыпи, принимаемая равной разности отметок бровки и лотка трубы,  $m$ ;

$d$  — диаметр трубы,  $m$ ;

$i_0$  — уклон трубы;

$q$  — толщина стенки оголовка,  $m$ ;

$M$  — длина раструбного оголовка. Для круглых и прямоугольных труб устанавливается по типовым проектам в зависимости от размеров трубы; так, например, при диаметре трубы  $d = 1 \text{ м}$   $M = 1,15 \text{ м}$ , при  $d = 1,5 \text{ м}$   $M = 1,9 \text{ м}$ .

Полученную по формуле (65) длину необходимо увязать с количеством и размерами стандартных блоков и принять такой, чтобы укладывалось их целое число.

### 5—8. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ВОДООТВОДНЫХ КАНАВ (КЮВЕТОВ)

В системе дорожного водоотвода важное место занимают боковые и нагорные канавы, кюветы и другие искусственные открытые русла.

Технические указания по проектированию автомобильных дорог лесозаготовительных предприятий [78] и нормы [74] содержат рекомендации размеров водоотводных канав в зависимости от климатических, грунтовых и конструктивных особенностей дороги или ее участка. Нормальные размеры боковых канав (кюветов) приведены в табл. 5—17.

Таблица 5—17

Тип грунта и конструкция земляного полотна	Форма сечения кювета	Глубина кювета (м) для климатических зон		Ширина кювета по дну, м	Крутизна откосов	
		II и III	IV и V		внутрен- него	наруж- ного
Гравелистый песок, гравий:	треугольная	0,3	без кювета	—	1 : 3	1 : 1,5 — 1 : 2
	в насыпи	»	0,3	0,3	—	1 : 3
	в выемке	»	0,3	0,3	—	1 : 1,5
Песок, супесь, пылеватый песок:	»	0,5	0,4	—	1 : 3	1 : 2
	в насыпи	»	0,6	0,5	—	1 : 3
	в выемке	»	0,6	0,5	—	1 : 1,5
Суглинок, глина, пылеватый грунт:	трапецеидальная	0,6	0,5	0,4	1 : 1,5 — 1 : 3	1 : 1,5
	в насыпи	»	0,8	0,6	0,4	1 : 1,5
	в выемке	»	0,8	0,6	0,4	1 : 1,5

В практике лесной промышленности и лесного хозяйства дорожная сеть на заболоченных участках местности, как правило, увязывается с мелиоративной сетью (рис. 5—25), и тогда боковые придорожные канавы являются составной частью этой сети.



Рис. 5—25. Лесовозная дорога вдоль мелиоративной канавы

Размеры их назначаются по условиям мелиоративных требований [15].

Несмотря на наличие рекомендаций типовых форм и размеров водоотводных канав, при проектировании дорог очень часто приходится производить гидравлические расчеты их.

Для расчета дорожных водоотводных канав обычно используется уравнение равномерного движения жидкости в открытом русле [11]

$$Q = \omega C V \bar{R} i \text{ } m^3/\text{сек}, \quad (5-68)$$

где  $Q$  — расход воды,  $m^3/\text{сек}$ ;

$\omega$  — живое сечение воды в канаве,  $m^2$ ;

$C$  — коэффициент Шези;

$R$  — гидравлический радиус,  $m$ ;

$i$  — уклон дна канавы.

Используя это уравнение, можно решать следующие основные практические задачи.

1. По заданным форме и площади сечения канавы  $\omega$ , продольном ее уклоне  $i$  и коэффициенту шероховатости русла  $n$

определить величину расхода воды (пропускную способность канавы).

2. Вычислить рациональное сечение дорожной канавы, которое бы обеспечивало пропуск расчетного расхода воды и при заданном продольном уклоне  $i$  исключало возможность как размыва канавы, так и ее заиливания.

3. По заданным расчетному расходу воды  $Q$ , допустимой скорости потока  $v$ , коэффициенту шероховатости русла  $n$  и площади живого сечения  $\omega$  найти предельные значения продольных уклонов канавы.

4. Определить допустимый коэффициент шероховатости канавы заданного размера и продольного уклона, при котором пропускная способность будет соответствовать расчетной.

Рассмотрим отдельные параметры, входящие в расчетное уравнение (68).

Расчетный расход канав  $Q$  вычисляется только для ливневого стока. Причем для водосборных площадей  $F \leq 0,2 \text{ км}^2$  принимается постоянным  $\lambda = 0,01$ . Формула (9) в этом случае может быть несколько упрощена и принята в следующем виде:

$$Q = 16,7 a_1 \varphi F \delta'_{6,0} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (5-69)$$

где  $a_1$  — интенсивность водоотдачи ( $\text{мм/мин}$ ) при продолжительности стока  $t_b = 30 \text{ мин}$  (см. табл. 1) и обеспеченности 4 %;

$\varphi$  — коэффициент полноты стока, равный 0,70—0,95;

$F$  — площадь водосбора,  $\text{км}^2$ ;

$\delta'_{6,0}$  — коэффициент озерности (табл. 5).

Расчетный расход канав при  $F < 0,3 \text{ км}^2$  может быть вычислен также по упрощенной формуле профессора Е. В. Болдакова [12]:

$$Q = 0,56 (h - z) F \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (5-70)$$

где  $h$  — слой стока ( $\text{мм}$ ) при продолжительности его  $t_b = 30 \text{ мин}$ ;

$z$  — потери слоя стока, зависящие от характеристики растительности,  $\text{мм}$ :

отсутствует растительность . . . . . 0

средний лес, кустарник . . . . . 5

густой лес . . . . . 10

тайга, завалы, моховое болото . . . . . 20—40

Скорость воды в дорожных канавах  $v$  определяется по формуле

$$v = C \sqrt{Ri} \text{ м/сек.} \quad (5-71)$$

Вычисленная по этой формуле скорость не должна выходить за пределы допустимых скоростей.

Верхний предел скорости (табл. 10) устанавливается с таким расчетом, чтобы исключить размыв канав. Как видно из таблицы, допускаемая скорость воды зависит от типа грунта или вида укрепления русла, а также от глубины потока.

Нижний предел обусловлен заиливанием, которое наступает при небольших скоростях воды в канавах. Так, например, мелкие наносы начинают откладываться уже при  $v < 0,25$  м/сек, а мелкий песок — при  $v < 0,4$  м/сек. Если скорость течения не превышает 0,6 м/сек, то русло может зарасти травой.

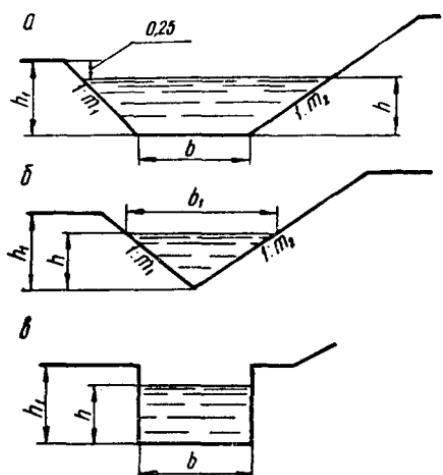


Рис. 5—26. Поперечное сечение дорожных водоотводных каналов:

*а* — трапециoidalное; *б* — треугольное; *в* — прямоугольное

Продольные уклоны канал *i* рекомендуется назначать равными продольным уклонам дороги (в выемках, нулевых местах и небольших насыпях) или продольному уклону местности. Минимальное значение продольных уклонов каналов не должно быть менее 5°/00, а в исключительных случаях при весьма ровной местности — не менее 3°/00.

Максимальное значение устанавливается расчетным путем, исходя из допускаемой скорости потока и характеристик живого сечения русла.

Поперечное сечение канал по форме бывает *трапециoidalным*, *треугольным*.

Земляным каналам обычно придается трапециoidalная или треугольная форма сечения как наиболее удобная при машинном способе производства работ. Укрепленные каналы могут иметь также прямоугольную форму.

Известно, что большую пропускную способность будут иметь те сечения, которые при одинаковой площади живого сечения  $\omega$  имеют минимальное значение смоченного периметра  $\chi$ .

Нетрудно убедиться, что наименьший смоченный периметр имеет полуокружность, несколько больший — правильные многоугольники и самый больший — треугольные сечения.

Во всех случаях сечение канавы должно назначаться с таким расчетом, чтобы от поверхности воды до низовой бровки канавы оставался запас не менее чем на 0,15 м.

Площадь живого сечения русла вычисляется по формуле

$$\omega = bh + mh^2, \quad (5-72)$$

где  $m = \frac{m_1 + m_2}{2}$  — среднеарифметический коэффициент откоса;  
 $b, h$  — обозначены на рис. 26.

$$\text{Смоченный периметр } \chi = b + m'h, \quad (5-73)$$

$$\text{где } m' = \sqrt{1+m^2} + \sqrt{1+m_*^2}.$$

Для случая прямоугольного русла в формулах (72) и (73) коэффициенты  $m = 0$ , а для треугольного  $b = 0$ .

Для гидравлически наивыгоднейшего сечения трапецеидальной канавы отношение ширины понизу  $b$  к глубине потока  $h$  имеет вид

$$b = h(m' - 2m), \quad (5-74)$$

а гидравлические характеристики в этом случае определяются по формулам:

$$\text{живое сечение } \omega_{\text{г.н}} = h^2(m' - m); \quad (5-75)$$

$$\text{смоченный периметр } \chi_{\text{г.н}} = 2h(m' - m); \quad (5-76)$$

$$\text{гидравлический радиус } R_{\text{г.н}} = \frac{h_0}{2}. \quad (5-77)$$

Глубина наполнения гидравлически наивыгоднейшего сечения канавы в зависимости от определяющих ее основных факторов вычисляется из выражения

$$h_{\text{г.н}} = 1,19 \left[ \frac{Qn}{(m' - m) \sqrt{i}} \right]^{\frac{3}{8}} \quad (5-78)$$

или

$$h_{\text{г.н}} = 2 \frac{vn}{\sqrt{i}} \sqrt{\frac{vn}{\sqrt{i}}}. \quad (5-79)$$

Анализ формулы (74) показывает, что если среднеарифметический коэффициент откосов изменяется в пределах от 0 до 2, то глубина потока в канаве наивыгоднейшего гидравлического сечения  $h = 0,5b \div 2,08b$ , где  $b$  — ширина дна канавы.

Коэффициент Шези  $C$  при расчете водоотводных канал может быть вычислен по формуле Н. Н. Павловского (26) или же по формуле Маннинга, имеющей вид

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} m^{0.5}/\text{сек}, \quad (5-80)$$

где  $R$  — гидравлический радиус, м;

$n$  — коэффициент шероховатости.

Значения коэффициента шероховатости для основных типов водоотводных канал приведены в табл. 5—18.

Кроме гидравлических факторов, на выбор формы и размеров водоотводных канал большое влияние оказывают способы механизации, технология производства строительных работ и конструкция дороги.

Так, например, исходя из устойчивости откосов, техническими условиями установлена предельная глубина канал: в глинистых грунтах — 1,25 м, в суглинистых — 0,8—1,0 м и в песчаных — до 0,8 м.

Таблица 5—18

Характер поверхности и канав	<i>n</i> для состояния поверхности			
	очень хоро- шего	хоро- шего	обыч- ного	пло- хого
Земляные канавы правильной формы	0,017	0,020	0,022	0,025
Извилистые канавы с медленным течением . . . . .	0,022	0,025	0,028	0,030
Канавы, проложенные в гравелистых грунтах . . . . .	0,020	0,025	0,027	0,030
Канавы, проложенные в галечнике	0,025	0,027	0,030	0,033
Канавы чистые, высеченные в скале	0,025	0,030	0,033	0,035
Земляное дно, откосы из каменной кладки . . . . .	0,028	0,030	0,033	0,035
Нестроганные доски . . . . .	0,011	0,013	0,014	0,015

Во избежание переполнения канав рекомендуется сбрасывать из них воду в пониженные места не более чем через 500 м при трапециoidalном их сечении и не более чем через 150—200 м при треугольном.

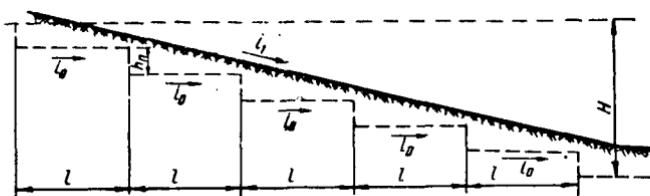


Рис. 5—27. Схема продольного профиля боковой дорожной канавы с перепадами

В практике проектирования дорожного водоотвода канавы часто приходится прокладывать по местности с уклоном больше критического.

В таких случаях возникает необходимость в устройстве перепадов и быстротоков. Перепады (рис. 5—27), устраиваемые обычно высотой 0,3—0,5 м, позволяют уменьшить продольный уклон канав и тем самым не допустить размыва грунта.

Расстояние между перепадами можно определить по формуле

$$l = \frac{h_p}{i_1 - i_0}, \quad (5-81)$$

где  $h_p$  — высота перепада, м;

$i_1$  — уклон местности;

$i_0$  — максимально допустимый по условиям размыва грунта уклон канавы.

Количество перепадов, которое необходимо устраивать на участке  $L$  при разности отметок  $H$ , определится из выражения

$$n = \frac{H - i_0 L}{h_n} \quad (5-82)$$

или

$$n = \frac{H + i_0 l}{h_n + i_0 l}. \quad (5-82 \text{ a})$$

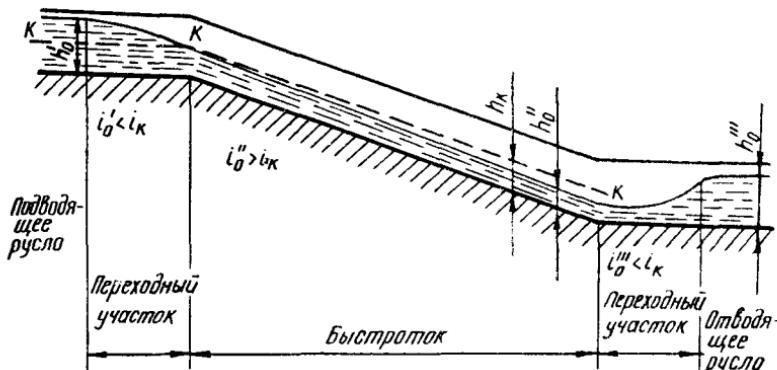


Рис. 5-28. Схема бурного быстротока

Исходя из местных условий, высота перепадов и расстояния между ними могут проектироваться разными, если это экономически себя оправдывает и не приводит к уменьшению прочности канавы. Перепады бывают различными по конструкции, по виду использованного материала и по гидравлической схеме протекания воды. В местах сопряжения бьефов устраиваются гасители энергии — водобойные стенки, водобойные колодцы, комбинированные сооружения. При расчетах перепадов и гасителей энергии все эти различия необходимо учитывать [11].

Быстротоки (рис. 5-28) характеризуются тем, что уклон их дна больше критического, т. е.  $i_0 > i_K$  и  $h_0 < h_K$ . К гидравлическим расчетам быстротоков относятся:

- определение глубины в начале и в конце быстротока;
- определение длины кривой спада (подпора);
- установление размеров водобойных колодцев и стенок, устраиваемых для гашения энергии в конце быстротока;
- выяснение влияния аэрации потока, определение характеристик, связанных с ней, и т. д.

Исходными при этом обычно являются: расчетный расход

воды  $Q$ , продольный уклон  $i_0$ , длина  $L$ , шероховатость стенок, а также форма сечения быстротока и ширина его по дну.

Используя эти данные и руководствуясь методами гидравлики, можно решить все задачи, связанные с расчетом и проектированием быстротоков.

### 5—9. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Пример 29.** Определить максимальный расход ливневого стока 2 % обеспеченности в створе пересечения дорогой реки  $M$ , используя следующие данные:

- 1) площадь бассейна  $F = 30 \text{ км}^2$ ;
- 2) длина бассейна по главному логу  $L = 15 \text{ км}$ ;
- 3) тип бассейна двухскатный;
- 4) местность равнинная, средние уклоны главного лога и склонов  $i_{\text{л}} = 5^{\circ}/\text{oo}$ ,  $i_{\text{c}} = 30^{\circ}/\text{oo}$ ;
- 5) характеристика шероховатости главного лога и склонов  $m_{\text{л}} = 25$ ;  $m_{\text{c}} = 30$ ;
- 6) почва подзолистая III категории;
- 7) озерность бассейна в верхней части 4 %;
- 8) бассейн расположен в климатическом районе № 5.

**Решение.** 1. Принимаем продолжительность водоотдачи  $t_{\text{в}} = 30 \text{ мин}$  и по табл. 1 определяем интенсивность водоотдачи  $a_1 = 0,69 \text{ мм/мин}$ .

2. Вычисляем время установления полного стока

$$t_{\text{c}} = \frac{18,6b_{\text{c}}^{0,4}}{[f(i_{\text{c}})]^{0,4} m_{\text{c}}^{0,4}} = 14,9 \cdot 3,9 = 58 \text{ мин},$$

где средняя ширина склона

$$b_{\text{c}} = \frac{500F}{L} = \frac{500 \cdot 30}{15} = 1000 \text{ м.}$$

3. Далее определяем значение коэффициента  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{69L \sqrt[4]{\frac{1 + \alpha^2}{\alpha}}}{m_{\text{л}}^{3/4} F^{1/4} i_{\text{л}}^{3/8} t_{\text{c}}} = \frac{69 \cdot 15 \sqrt[4]{\frac{1 + 7^2}{7}}}{25^{3/4} \cdot 30^{1/4} \cdot 5^{3/8} \cdot 58} = 0,62,$$

где  $\alpha = 7$  — коэффициент откоса главного русла для равнинной местности.

4. По отношению  $\frac{t_{\text{в}}}{t_{\text{c}}} = \frac{30}{58} = 0,52$  и  $\lambda = 0,62$  на графике (рис. 5) находим значение коэффициента полноты стока  $\varphi = 0,14$ .

5. Коэффициент неравномерности распределения осадков для 5-го климатического района при  $L = 15 \text{ км}$  находим из табл. 4 —  $\gamma = 0,81$ .

6. Коэффициент озерности и заболоченности принимаем из табл. 5 —  $\delta_{\text{б.о.}} = 0,90$ .

7. Максимальный расход ливневого стока определится по формуле

$$Q = 16,7 a_1 \varphi F \delta_{6.0} = 16,7 \cdot 0,69 \cdot 0,14 \cdot 30 \cdot 0,81 \cdot 0,90 = 35,3 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Ответ. Максимальный расход ливневого стока для створа пересечения реки  $M$  дорогой при 2% обеспеченности равен 35,3  $\text{м}^3/\text{сек.}$

**Пример 30.** Наблюдения за режимом реки  $K$  проводились в течение 21 года. По данным наблюдений установлены следующие максимальные весенние расходы реки:

Годы	Максимальный расход весеннего половодья $Q_{\max}$ , $\text{м}^3/\text{сек}$	Годы	Максимальный расход весеннего половодья $Q_{\max}$ , $\text{м}^3/\text{сек}$	Годы	Максимальный расход весеннего половодья $Q_{\max}$ , $\text{м}^3/\text{сек}$
1943	594	1950	253	1957	262
1944	536	1951	229	1958	305
1945	248	1952	230	1959	378
1946	578	1953	170	1960	199
1947	616	1954	564	1961	287
1948	248	1955	410	1962	170
1949	800	1956	171	1963	124

Определить расчетный расход весеннего половодья для десятипроцентной обеспеченности.

**Решение.** 1. Для определения среднего значения максимальных расходов используем формулу

$$Q_{\max (\text{ср})} = \frac{\sum Q_{\max}}{n},$$

где  $Q_{\max}$  — максимальный расход весеннего половодья,  $\text{м}^3/\text{сек}$ ;

$n$  — число измерений.

Модульные коэффициенты вычисляем из выражения

$$K = \frac{Q_{\max}^i}{Q_{\max (\text{ср})}},$$

где  $Q_{\max}^i$  — максимальный расход весеннего половодья  $i$ -го года.

Численное значение среднего расхода равно

$$Q_{\max (\text{ср})} = \frac{7372}{21} = 351 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Найдем модульные коэффициенты.

Для 1943 года  $K = \frac{594}{351} = 1,69$ .

Аналогично для остальных лет:

1944—1,53	1949—2,28	1954—1,61	1959—1,08
1945—0,71	1950—0,722	1955—1,17	1960—0,566
1946—1,65	1951—0,653	1956—0,487	1961—0,817
1947—1,75	1952—0,056	1957—0,747	1962—0,486
1948—0,71	1953—0,484	1958—0,867	1963—0,354

2. Расположим модульные коэффициенты в ряд по убывающему значению и произведем вспомогательные вычисления, необходимые для определения коэффициентов вариации и асимметрии.

№ п.п.	K	K — 1		(K — 1) <sup>2</sup>	(K — 1) <sup>3</sup>	
		+	-		+	-
1	2,28	1,28	—	1,640	2,120	—
2	1,75	0,75	—	0,563	0,425	—
3	1,69	0,69	—	0,479	0,335	—
4	1,65	0,65	—	0,425	0,279	—
5	1,61	0,61	—	0,374	0,228	—
6	1,53	0,53	—	0,282	0,148	—
7	1,17	0,17	—	0,029	0,049	—
8	1,08	0,08	—	0,0064	0,0005	—
9	0,867	—	0,133	0,0177	—	0,0024
10	0,817	—	0,183	0,0353	—	0,0062
11	0,747	—	0,253	0,0640	—	0,0164
12	0,722	—	0,278	0,0770	—	0,1216
13	0,710	—	0,290	0,0842	—	0,0245
14	0,710	—	0,290	0,0842	—	0,0246
15	0,656	—	0,344	0,119	—	0,041
16	0,653	—	0,347	0,121	—	0,042
17	0,566	—	0,434	0,189	—	0,082
18	0,487	—	0,513	0,262	—	0,136
19	0,486	—	0,514	0,264	—	0,137
20	0,484	—	0,516	0,266	—	0,138
21	0,354	—	0,646	0,418	—	0,272
		$\Sigma 5,80$		$\Sigma 3,5845$	$\Sigma 0,9437$	

3. Коэффициент вариации определяется по формуле (18):

$$C_v = \sqrt{\frac{5,8}{21 - 1}} = 0,54.$$

4. Коэффициент асимметрии — по формуле (19):

$$C_s = \frac{3,58 - 0,94}{21 \cdot 0,54^3} \approx 0,80.$$

5. Высчитываем отношение коэффициентов асимметрии и вариации:

$$\frac{C_s}{C_v} = \frac{0,80}{0,54} \approx 1,5.$$

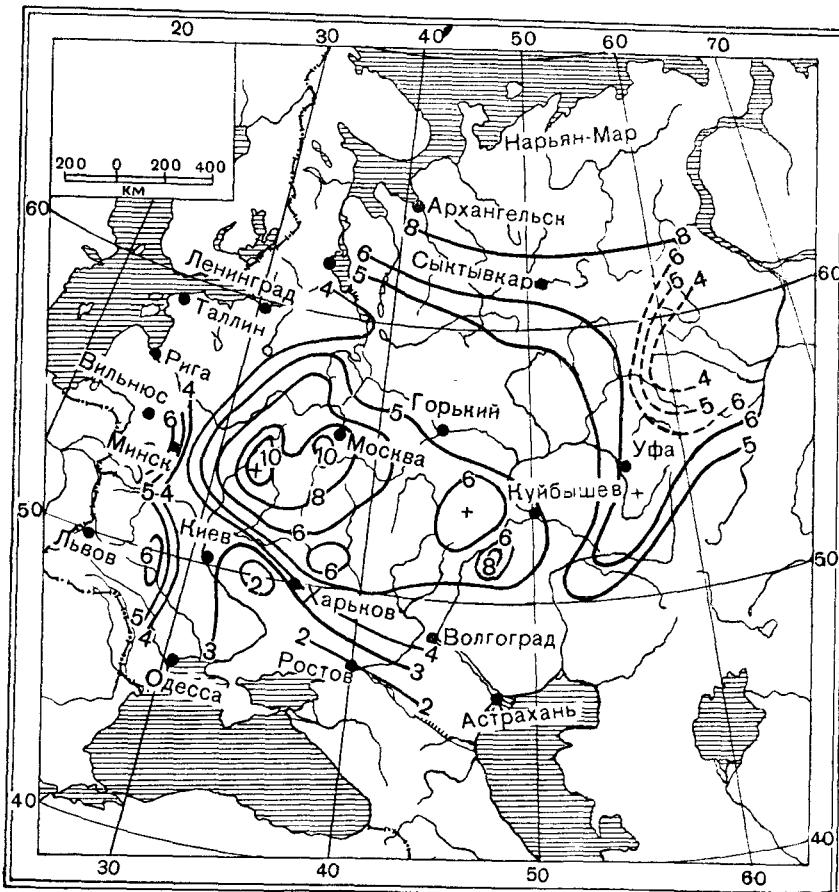


Рис. 5—29. Карта изолиний параметра  $A_{5\%}$ , входящего в формулу Д. Л. Соколовского (15)

6. Используя это отношение и учитывая коэффициент вариации  $C_v$ , по табл. 8 найдем модульный коэффициент заданной обеспеченности (10%). При  $C_v = 0,50$   $K_{10\%} = 1,69$ , а при  $C_v = 0,55$   $K_{10\%} = 0,74$ .

Путем интерполяции находим, что при  $C_v = 0,54$   $K_{10\%} = 1,73$ .

7. Максимальный весенний расход 10%-ной обеспеченности на основании формулы (21) будет равен

$$Q_{\max(10\%)} = 351 \cdot 1,73 = 607 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Ответ. Расчетный расход весеннего половодья десятипроцентной обеспеченности  $Q_{\max(10\%)} = 607 \text{ м}^3/\text{сек.}$

**Пример 31.** Применяя формулу Д. Л. Соколовского и используя карту изолиний (рис. 5—29), вычислить максимальный расход весеннего половодья 5%-ной обеспеченности р. Вымь для створа с координатами  $63^{\circ}20'$  с. ш.,  $51^{\circ}15'$  в. д.

Площадь бассейна до рассматриваемого створа  $F = 6750 \text{ км}^2$ , длина реки  $L = 160 \text{ км}$ . Река равнинная, 50% площади бассейна заболочено, 1% ее занято озерами и 60% покрыто лесами. Средняя залесенность района  $L_{cp} = 30\%$ , а коэффициент, учитывающий среднюю густоту леса,  $K_{cp} = 0,45$ . Центр бассейна находится в точке с координатами  $64^{\circ}10'$  с. ш.,  $51^{\circ}40'$  в. д.

**Решение.** 1. По карте изолиний (рис. 29) для заданного бассейна определяем параметр  $A$ . Определять значение  $A$  необходимо для центральной точки бассейна путем интерполяции. В данном примере центр бассейна с координатами  $64^{\circ}10'$  с. ш. и  $51^{\circ}40'$  в. д. выходит за изолинию с отметкой  $\delta$ . Севернее других изолиний нет, а поэтому за расчетное значение принимаем  $A = 8 \text{ мм/час.}$

2. Найдем регулирующее влияние озер и болот на величину стока по формуле (16):

$$\delta = 1,0 - 0,61 \lg(1 + 0,62 O_3 + 0,065 B) = 1,0 - 0,61 \lg(1 + 0,62 \cdot 1 + 0,065 \cdot 60) = 0,55.$$

3. Влияние залесенности бассейна, учитывающееся коэффициентом  $\delta'$ , по формуле (17)

$$\delta' = 1 - \frac{KL - K_{cp}L_{cp}}{100} = 1 - \frac{0,60 \cdot 60 - 0,45 \cdot 30}{100} = 0,78.$$

4. Максимальный расход весеннего половодья высчитаем по формуле (15):

$$Q_{\max(5\%)} = 0,278 A_{5\%} F^{1-n} \delta \delta' = 0,278 \cdot 8 \cdot 6750^{0,75} \times \\ \times 0,55 \cdot 0,78 \approx 710 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Ответ. Максимальный расход весеннего половодья 5%-ной обеспеченности в заданном створе р. Вымь

$$Q_{\max(5\%)} \approx 710 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

**Пример 32.** Определить максимальный расход снегового стока 4%-ной обеспеченности, если известно, что площадь водосбора  $F = 120 \text{ км}^2$ , заболоченность ее составляет  $B = 20\%$ , лес средней густоты, залесенность  $L = 30\%$ , а центр находится в точке с координатами  $56^{\circ}$  с. ш. и  $30^{\circ}$  в. д.

**Решение.** 1. По географической карте находим, что указанная площадь находится на территории БССР, для которой средняя залесенность  $L_{cp} = 60\%$ , а леса относятся к средней густоте и характеризуются коэффициентом  $K_{cp} = 0,45$ .

2. По карте изолиний (рис. 12) находим элементарный модуль снегового стока 4%-ной обеспеченности. Для точки с координатами  $56^{\circ}$  с. ш. и  $30^{\circ}$  в. д. он равен  $C_{4\%} = 0,5 \text{ м}^3/\text{км}^2 \cdot \text{сек.}$

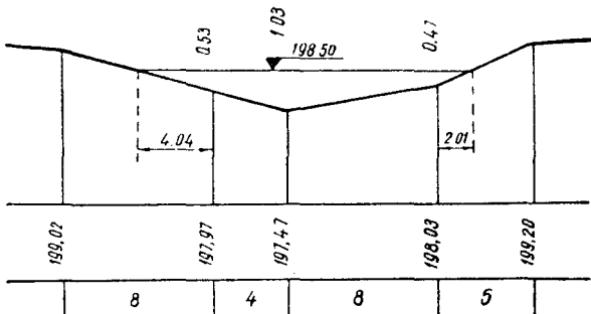


Рис. 5—30. Поперечное сечение лога

3. Коэффициент, учитывающий заболоченность (16):

$$\delta = 1,0 - 0,61 \lg(1 + 0,065 \cdot 20) = 0,78.$$

4. Коэффициент, учитывающий залесенность (17):

$$\delta' = 1 - \frac{0,45 \cdot 30 - 0,45 \cdot 60}{100} = 1,14.$$

5. Максимальный расход снегового стока определяется по формуле (15 а):

$$Q_{\max(4\%)} = 0,5 \cdot 120 \cdot 0,75 \cdot 0,78 \cdot 1,14 = 15,6 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

**Пример 33.** Рассчитать отверстие моста по следующим данным: расчетный расход воды в реке  $Q_{3\%} = 12,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$ ; отметка земли по оси моста  $197,47 \text{ м}$ ; отметка бровки земляного полотна по оси моста  $200,09 \text{ м}$ ; толщина дорожного покрытия  $h = 0,20 \text{ м}$ ; уклон лога в месте пересечения его трассой  $i = 0,007$ ; коэффициент шероховатости русла  $n = 0,046$ .

**Решение.** 1. Определим бытовую глубину потока. Для этого задаемся глубиной  $h$ , вычисляем характеристики живого сечения, скорость потока и расход. По ряду вычислений строим кривую  $Q = f(h)$ , а по ней находим искомую бытовую глубину.

Принимаем глубину потока  $h = 0,5 \text{ м}$ .

Площадь живого сечения будет равна (рис. 5—30)

$$\omega_1 = \frac{197,97 - 197,47}{2} \cdot 4 + \frac{197,97 - 197,47}{2} x_1 = 2,79 \text{ м}^2,$$

$$\text{где } x_1 = 8 \frac{197,97 - 197,47}{198,03 - 197,47} = 7,15.$$

Смоченный периметр

$$z_1 = \sqrt{0,5^2 + 4^2} + \sqrt{0,5^2 + (7,15)^2} = 11,2 \text{ м.}$$

Гидравлический радиус

$$R_1 = \frac{\omega_1}{z_1} = \frac{2,79}{11,2} = 0,25 \text{ м.}$$

Скорость потока

$$v_1 = \frac{1}{n} R_1^y \sqrt{R_1 i} = \frac{1}{0,046} \cdot 0,25^{0,25} \sqrt{0,25 \cdot 0,007} = 0,65 \text{ м/сек.}$$

Расход воды

$$Q_1 = \omega_1 v_1 = 2,79 \cdot 0,65 = 1,8 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Принимаем глубину потока  $h_2 = 1,03 \text{ м}$  и повторяем расчеты.

Площадь живого сечения:

$$\omega_2 = \frac{198,50 - 197,97}{2} \cdot x_2 + \frac{(198,50 - 197,97) + (198,50 - 197,47)}{2} \times \\ \times 4 + \frac{(198,50 - 197,47) + (198,50 - 198,03)}{2} \cdot 8 +$$

$$+ \frac{198,50 - 198,03}{2} x_3;$$

$$x_2 = 8 \frac{198,50 - 197,97}{199,02 - 197,97} = 4,04;$$

$$x_3 = \frac{198,50 - 198,03}{199,20 - 198,03} = 2,01;$$

$$\omega_2 = 10,56 \text{ м}^2.$$

Смоченный периметр

$$z_2 = \sqrt{0,53^2 + 4,04^2} + \\ + \sqrt{0,50^2 + 4,00^2} + \\ + \sqrt{0,56^2 + 8,00^2} + \\ + \sqrt{0,47^2 + 2,01^2} = 18,17 \text{ м.}$$

Гидравлический радиус

$$R_2 = \frac{\omega_2}{z_2} = \frac{10,56}{18,17} = 0,58 \text{ м.}$$

Скорость потока

$$v_2 = \frac{1}{n} R_2^y \sqrt{R_2 i} = \frac{1}{0,046} \cdot 0,58^{0,25} \sqrt{0,58 \cdot 0,007} = 1,20 \text{ м/сек.}$$

Расход

$$Q_2 = \omega_2 v_2 = 10,56 \cdot 1,20 = 12,68 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Аналогичным образом производим расчеты при  $h_3 = 1,5 \text{ м}$  и находим  $Q_3 = 34,7 \text{ м}^3/\text{сек.}$  Затем в прямоугольных координатах (рис. 5—31) строим кривую  $Q = f(h)$  и определяем бытовую глубину

$$h_6 = 1,03 \text{ м.}$$

Отметка 198,50 соответствует расчетному горизонту.

Бытова скорость  $v_b = 1,2 \text{ м/сек.}$

2. В качестве укрепления русла принимаем наброску булыжника. Предполагая, что средняя глубина потока в сооружении будет примерно равна 1,0, по табл. 10 устанавливаем величину допускаемой скорости в сооружении  $v_d = 3,5 \text{ м/сек.}$

3. Предполагаем, что течение воды в сооружении происходит по схеме незатопленного водослива. Отверстие моста при этом определяется по формуле

$$B = \frac{Q_{pg}}{\varepsilon v_d^3} = \frac{12,5 \cdot 9,81}{0,9 \cdot 3,5^3} = 3,20 \text{ м.}$$

Округляем отверстие моста до ближайшего большего по стандарту и тогда получим

$$B = 4,0 \text{ м.}$$

4. Фактическая скорость течения воды под мостом в этом случае будет

$$v_\phi = \sqrt[3]{\frac{Q_{pg}}{\mu B}} = \sqrt[3]{\frac{12,5 \cdot 9,81}{0,9 \cdot 4,0}} = 3,24 \text{ м/сек.}$$

5. Критическая глубина воды в сооружении при расчетном расходе и при коэффициенте кинетической энергии  $\alpha = 1,0$  определяется из выражения

$$h_k = \frac{\alpha v_\phi^2}{g} = \frac{1,0 \cdot 3,24^2}{9,81} = 1,08 \text{ м;}$$

так как  $h_k > h_b$  ( $1,08 \text{ м} > 1,03 \text{ м}$ ), то принятая расчетная схема — незатопленный водослив — соответствует действительным условиям работы сооружения.

6. Глубина воды перед мостом с учетом подпора при расчетном расходе реки  $Q_p = 12,5 \text{ м}^3/\text{сек}$  и коэффициенте скорости  $\varphi = 0,90$  будет равна

$$H = h_k + \frac{v_\phi^2}{2g\varphi} = 1,08 + \frac{3,24^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,90} = 1,67 \text{ м,}$$

а отметка горизонта воды перед мостом

$$H' = 197,47 + 1,67 = 199,14 \text{ м.}$$

7. Максимальную отметку бровки земляного полотна  $H'_{z,p}$  определяем из условия возвышения низа пролетного строения над подпертым уровнем  $t = 0,75 \text{ м}$ :

$$H'_{z,p} = H' + t + K = 199,14 + 0,75 + 0,44 = 200,29 \text{ м.}$$

Строительная высота моста (табл. 16) принята  $K = 0,44 \text{ м}$ . Полученная отметка  $H'_{z,p} = 200,29 \text{ м}$  и больше отметки проектной линии на 0,20 м.

Если учесть, что дорожное покрытие будет устраиваться поверх земляного полотна, а в качестве покрытия на мосту будут служить элементы самого моста, толщина которых входит

в строительную высоту  $K$ , то эту разницу следует считать допустимой.

**Пример 34.** Определить размеры прямоугольной железобетонной безнапорной трубы с раstrубным входным оголовком, принимая следующие исходные данные: расчетный расход воды  $Q = 3 \text{ м}^3/\text{сек}$ , бытовая глубина  $h_b = 0,4 \text{ м}$ , длина трубы  $L = 15 \text{ м}$ .

**Решение.** 1. Принимаем степень наполнения трубы  $S_0 = 0,80$ , коэффициент формы поперечного сечения  $m = 1,33$  и коэффициент скорости для раstrубного входного оголовка  $\varphi = 0,89$ .

2. По данным  $S_0$ ,  $m$ ,  $\varphi$  из табл. 12 находим значение коэффициентов:  $K_{1к} = 0,49$ ;  $K_{3к} = 1,72$ ;  $K_{4к} = 3,83$ .

3. Высоту трубы  $h_t$  определим по формуле (43), приняв  $\varepsilon = 1$ :

$$h_t = 1,72 \sqrt[5]{\frac{1 \cdot 3^2}{9,81 \cdot 1^2}} = 1,58 \text{ м.}$$

Округленно  $h_t = 1,6 \text{ м.}$

Ширина трубы в этом случае равна

$$B = \frac{h_t}{m} = \frac{1,60}{1,33} = 1,20 \text{ м.}$$

Согласно формуле (45), статический напор перед трубой

$$H = S_0 h_t = 0,8 \cdot 1,60 = 1,28 \text{ м.}$$

4. Критическую глубину найдем по формуле (42):

$$h_k = K_{1к} h_t = 0,49 \cdot 1,60 = 0,78 \text{ м.}$$

так как  $h_k = 0,78 \text{ м} > h_b = 0,4 \text{ м}$ , то труба работает, как незатопленный водослив с широким порогом.

5. Определим критический продольный уклон по формуле (44):

$$i_k = K_{4к} \frac{gn^2}{a^3 \sqrt{h_t}} = 3,83 \frac{9,81 \cdot 0,017^2}{1^3 \sqrt{1,6}} = 0,009,$$

где  $n = 0,017$  — коэффициент шероховатости для бетонной поверхности.

**Ответ.** Для пропуска расхода  $Q = 3 \text{ м}^3/\text{сек}$  безнапорная прямоугольная труба из железобетона должна иметь ширину отверстия  $B = 1,2 \text{ м}$  и высоту  $h_t = 1,6 \text{ м.}$

**Пример 35.** Рассчитать круглую безнапорную трубу с обтекаемым входным оголовком по следующим исходным данным: расход воды  $Q = 2,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , коэффициент скорости  $\varphi = 0,95$ , бытовая глубина  $h_b = 0,6 \text{ м}$ , коэффициент шероховатости  $n = 0,016$ .

**Решение.** 1. Задаемся коэффициентом наполнения трубы  $S_0 = 0,85$  и принимаем коэффициент бокового сжатия  $\varepsilon = 1$ . После этого из табл. 13 по известным  $S_0$  и  $\varphi$  находим коэффициенты:  $K_{1к} = 0,585$ ;  $K_{3к} = 1,560$ ;  $K_{4к} = 2,695$ .

2. Определим диаметр трубы по формуле (43):

$$d = K_{3k} \sqrt[5]{\frac{\alpha Q^2}{g\varepsilon^2}} = 1,56 \sqrt[5]{\frac{1 \cdot 2,5^2}{9,81 \cdot 1^2}} = 1,42 \text{ м.}$$

Принимаем ближайший стандартный  $d = 1,5 \text{ м.}$

3. Определим коэффициент  $K_{3k}$  при  $d = 1,5 \text{ м.}$

$$K_{3k} = \frac{d}{\sqrt[5]{\frac{\alpha Q^2}{g\varepsilon^2}}} = \frac{1,5}{\sqrt[5]{\frac{1 \cdot 2,5^2}{9,81 \cdot 1^2}}} = 1,64.$$

При  $\varphi = 0,95$  и  $K_{3k} = 1,64$  из табл. 13 путем интерполяции находим:  $S_0 = 0,80$ ;  $K_{1k} = 0,555$ ;  $K_{4k} = 2,60$ .

4. Определим критическую глубину потока воды в трубе

$$h_k = K_{1k} d = 0,555 \cdot 1,5 = 0,83 \text{ м.}$$

Полученное  $h_k > h_6$ , а следовательно, труба работает, как незатопленный водослив, и в конце трубы глубина равна критической.

5. Подпор воды перед трубой равен

$$H = S_0 d = 0,8 \cdot 1,5 = 1,2 \text{ м.}$$

6. Критический уклон определим по формуле

$$i_k = K_{4k} \frac{g n^2}{\alpha \sqrt[3]{h_t}} = 2,6 \frac{9,81 \cdot 0,016^2}{\sqrt[3]{1,5}} = 0,006.$$

Ответ. Диаметр трубы  $d = 1,5 \text{ м}$ , продольный уклон равен критическому, т. е.  $i_0 = i_k = 0,006$ .

**Пример 36.** Определить отверстие круглой железобетонной напорной трубы без входного оголовка и высоту насыпи, если известны: расход воды  $Q = 3,0 \text{ м}^3/\text{сек}$ , допускаемая скорость в трубе  $v_d = 4 \text{ м/сек}$ , продольный уклон лога  $i_0 = 0,005$ , бытовая глубина воды в нижнем бьефе  $h_6 = 0,6 \text{ м}$ , а длина трубы  $L = 12 \text{ м.}$

Решение. 1. Диаметр трубы высчитывается по формуле расхода

$$d = \sqrt[4]{\frac{4Q}{\pi v_d}} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot 3,0}{3,14 \cdot 4}} = 0,96 \text{ м.}$$

Принимаем ближайший стандартный диаметр  $d = 1,0 \text{ м}$ , тогда фактическая скорость движения воды в трубе

$$v = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 3,0}{3,14 \cdot 1^2} = 3,82 \text{ м/сек.}$$

2. Глубина воды на выходе из трубы при  $h_6 > \frac{d}{2}$  принимается равной  $h_6$ , т. е.  $h = 0,6 \text{ м.}$

3. Коэффициент скорости определяется по формуле

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \xi_{bx} + \xi_{dn}}},$$

где  $\xi_{bx}$  — коэффициент сопротивления на вход в трубу, равный  $0,1 - 0,5$ ;

$\xi_{\text{дл}}$  — коэффициент сопротивления по длине трубы, для круглых труб равный  $\xi_{\text{дл}} = \lambda \frac{L}{d}$ ;

$\lambda = \frac{8g}{C^2}$  — коэффициент трения;

$C$  — коэффициент Шези.

Принимаем среднее значение коэффициента  $\xi_{\text{вх}} = 0,3$ , а коэффициент  $\xi_{\text{дл}}$  вычислим по формулам:  
коэффициент Шези

$$C = \frac{1}{n} R^y = \frac{1}{0,015} \cdot 0,25^{0,185} = 51,6 \text{ м}^{0,5}/\text{сек},$$

где  $n = 0,015$  для бетонной поверхности и  $y = 0,185$  по табл. 9;

$R = \frac{d}{4} = \frac{1,0}{4} = 0,25 \text{ м}$  — гидравлический радиус для трубы;  
коэффициент трения

$$\lambda = \frac{8g}{C^2} = \frac{8 \cdot 9,81}{51,6^2} = 0,029;$$

коэффициент сопротивления при этом равен

$$\xi_{\text{дл}} = 0,029 \frac{12}{1,0} = 0,34;$$

коэффициент скорости по формуле, приведенной выше,  
равен

$$\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + 0,3 + 0,34}} = 0,78.$$

4. Определим уклон трения по формуле

$$i_w = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{3,82^2}{51,6^2 \cdot 0,25} = 0,022.$$

5. Напор воды перед трубой высчитаем по формуле

$$H = \frac{v^2}{2g\varphi^2} + h - L(i_w - i_0) = \frac{3,82^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 0,78^2} + 0,6 - 12(0,022 - 0,005) = 1,62 \text{ м.}$$

6. Минимальная высота насыпи должна быть равна

$$H_n = H + \Delta h = 1,62 + 0,5 = 2,12 \text{ м},$$

где  $\Delta h = 0,5$  — минимальное возвышение бровки земляного полотна над подпорным горизонтом.

Ответ. Диаметр железобетонной трубы  $d = 1,0 \text{ м}$ , минимальная высота насыпи  $H_n = 2,12 \text{ м}$ .

**Пример 37.** Рассчитать отверстие большого моста и определить его положение на пойме. Исходные данные: поперечное сечение реки (рис. 5—32), коэффициент общего сжатия потока  $\delta = 1,0$ , коэффициенты шероховатости главного русла  $n_0 = 0,03$ , пойм  $n_1 = n_2 = 0,08$ , коэффициент изменения бытовых условий  $m = 0,90$ .

Решение. 1. По данным рис. 32 определим площадь

живого сечения главного русла  $\omega_0$  и пойм  $\omega_1$ ,  $\omega_2$  при горизонте высоких вод ( $ГВВ$ ):

$$\begin{aligned}\omega_0 &= \frac{(100,00 - 97,50) + (100,00 - 94,75)}{2} \cdot 12 + \\&+ \frac{(100,00 - 94,75) + (100,00 - 95,75)}{2} \cdot 16 + \\&+ \frac{(100,00 - 97,75) + (100,00 - 97,50)}{2} \cdot 12 = 163 \text{ } m^2; \\ \omega_1 &= \frac{100,0 - 98,75}{2} \cdot 17 + \frac{(100,0 - 98,75) + (100,0 - 98,25)}{2} \times \\&\times 8 + \frac{(100,0 - 98,25) + (100,0 - 97,50)}{2} \cdot 5 = 33,3 \text{ } m^2; \\ \omega_2 &= \frac{(100,0 - 97,5) + (100,0 - 98,5)}{2} \cdot 20 + \frac{(100,0 - 98,5)}{2} \times \\&\times 30 = 62,5 \text{ } m^2.\end{aligned}$$

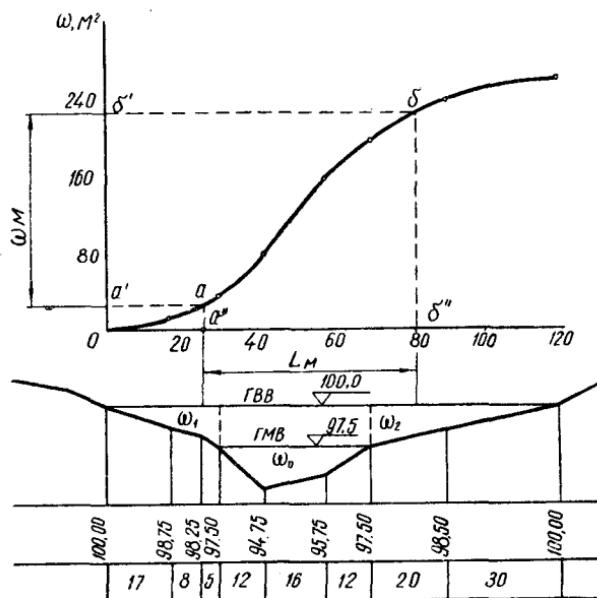


Рис. 5—32. Живое сечение реки и график нахождения площадей

2. Вычислим средние глубины русла и пойм, а также гидравлические эквиваленты (56):

$$H_0 = \frac{\omega_0}{b_0} = \frac{163}{40} = 4,75 \text{ } m;$$

$$H_1 = \frac{\omega_1}{b_1} = \frac{33,3}{30} = 1,11 \text{ } m;$$

$$H_2 = \frac{\omega_2}{b_2} = \frac{62,5}{50} = 1,25 \text{ } m,$$

где  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  — ширина русла и пойм, принятая по данным рис. 32.

$$K_1 = \frac{\frac{n_0 H_1^{\frac{2}{3}}}{\frac{2}{2}}}{\frac{n_1 H_0^{\frac{3}{3}}}{\frac{2}{2}}} = \frac{0,03 \cdot 1,11^{\frac{2}{3}}}{0,08 \cdot 4,75^{\frac{3}{3}}} = 0,142;$$

$$K_2 = \frac{\frac{n_0 H_2^{\frac{2}{3}}}{\frac{2}{2}}}{\frac{n_2 H_0^{\frac{3}{3}}}{\frac{2}{2}}} = \frac{0,03 \cdot 1,25^{\frac{2}{3}}}{0,08 \cdot 4,75^{\frac{3}{3}}} = 0,154.$$

3. Определим рабочую площадь по формуле

$$\omega_p = \frac{m}{\delta} (\omega_0 + K_1 \omega_1 + K_2 \omega_2) = \frac{0,90}{1,0} (163 + 0,142 \cdot 33,3 + 0,154 \cdot 62,5) = 160 \text{ м}^2.$$

Площадь между береговыми устоями, включающая промежуточные опоры, определяется по формуле

$$\omega_m = \frac{\omega_p}{\mu(1-\beta)} = \frac{160}{0,85(1-0,06)} = 200 \text{ м}^2,$$

где  $\mu$  — коэффициент местного сжатия; при опорах прямоугольной формы  $\mu = 0,85$ ;

$\beta$  — относительная площадь опор.

4. В прямоугольных координатах строим график накопления площади, ось координат при этом совмещаем с вертикалью, проходящей через начало поймы.

По интегральному графику отыскиваем наивыгоднейшее положение отрезка  $\omega_m$ , при котором расстояние между береговыми опорами  $L_m$  будет наименьшим. Отложив отрезок  $\omega_m = 200 \text{ м}^2$  между точками  $a'$ ,  $b'$ , проводим через его концы горизонтальные линии до пересечения с кривой (точки  $a$ ,  $b$ ). Затем точки пересечения  $a$  и  $b$  проектируем на ось абсцисс и получаем  $L_m = 82 - 26 = 56 \text{ м}$ .

При построении графика площадей в настоящем примере размыв русла не предусмотрен. В действительности такой размыв нужно предусматривать, назначая его величину с учетом конструкции опор и геологическими особенностями грунтов, так как это дает возможность уменьшить величину моста.

Ответ. Расстояние между береговыми опорами  $L_m = 56 \text{ м}$ ; рабочая площадь моста  $\omega_p = 160 \text{ м}^2$ ; конец левого берегового устоя, как видно из графика, расположен на расстоянии 26 м от левого уреза воды, правого — 38 м от уреза воды справа.

**Пример 38.** Определить расчетные расходы дорожных водосборных канав и места установки труб на участке асфальтобетонной автомобильной дороги от моста через реку Ушанку до 17-го км (рис. 5—33). Известно, что местность относится к

ливневому району № 3, почвы IV категории, поверхностный покров — трава, кустарник и лес. Ширина дороги 8 м.

Решение. 1. Анализируя рельеф местности по горизонталиям, нетрудно установить, что на участке дороги от р. Ушанки до 17-го км боковые канавы необходимо устраивать только с левой стороны. Справа вода имеет сток по направлению реки.

Проводим водораздельную линию (штриховая) и разбиваем водосборную площадь на шесть зон I—VI.

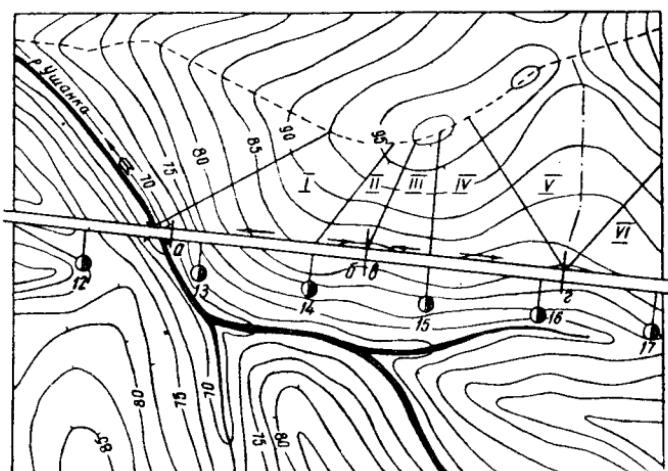


Рис 5–33 Участок дороги и водосборные площади боковых канав

Зона I. Вода стекает к дороге и стремится пройти через нее по направлению к реке. Боковой водоотводной канавой она может быть отведена к мосту.

Зона II. Вода стекает к дороге и может быть отведена в пониженное место к пикету 145.

Зона III. Вода стекает к дороге и затем в понижение на 145-м пикете.

Зона IV. Сток воды направлен к дороге. Уклон дороги — 5% от пикета 150 до 162.

Зона V. На заданном плане полностью не показана. С этой зоны вода стекает по логу (ось лога показана штрих-пунктирной линией), перпендикулярному к оси дороги, и в боковую канаву не попадает.

Зона VI. Изображена на плане лишь частично, и поэтому решить вопрос о расходе воды в канаве на участке ПК 162—170 нет возможности.

2. Определим водосборные площади по зонам, разбивая их

на простейшие фигуры. В итоге получим:  $F_I = 0,86 \text{ км}^2$ ;  $F_{II} = 0,32 \text{ км}^2$ ;  $F_{III} = 0,37 \text{ км}^2$ ;  $F_{IV} = 0,86 \text{ км}^2$ .

3. Расходы ливневого стока найдем по формуле (9), приняв коэффициенты неравномерности выпадения осадков и озерности равными единице.

Интенсивность водоотдачи в климатическом районе № 3 для почв IV категории и при 4%-ной обеспеченности возьмем из табл. 1:  $a_1 = 0,25 \text{ мм/мин}$ .

Для определения коэффициента полноты стока  $\varphi$  вычислим значение  $t_c$  (10) и  $\lambda$  (11).

Результаты вычислений сводим в таблицу.

Зоны	Ширина склона $b_c, \text{ м}$	Уклон склона $i_c$	Коэффициент гидравлической шероховатости		Уклон лога $i_l$	Длина лога $L, \text{ м}$	Значение	
			склонов $m_c$	лога $m_l$			$t_c, \text{ мин}$	$\lambda$
I	800	0,010	30	25	10	1200	55	0,06
II	700	0,012	30	25	5	450	50	0,05
III	700	0,012	30	25	5	550	50	0,05
IV	800	0,010	30	25	5	1200	55	0,06

По  $t_c$  и  $\lambda$  при  $t_b = 30 \text{ мин}$  из графика (рис. 5) находим:

$$\text{I зона } \frac{t_b}{t_c} = 0,54 \quad \lambda = 0,06 \quad \varphi_I = 0,22;$$

$$\text{II зона } \frac{t_b}{t_c} = 0,60 \quad \lambda = 0,05 \quad \varphi_{II} = 0,30;$$

$$\text{III зона } \frac{t_b}{t_c} = 0,60 \quad \lambda = 0,05 \quad \varphi_{III} = 0,30;$$

$$\text{IV зона } \frac{t_b}{t_c} = 0,54 \quad \lambda = 0,06 \quad \varphi_{IV} = 0,22;$$

Расчетные расходы будут равны:

$$Q_I = 16,7 \cdot 0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,86 = 0,90 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$Q_{II} = 16,7 \cdot 0,25 \cdot 0,30 \cdot 0,32 = 0,40 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$Q_{III} = 16,7 \cdot 0,25 \cdot 0,30 \cdot 0,37 = 0,46 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$Q_{IV} = 16,7 \cdot 0,25 \cdot 0,25 \cdot 0,86 = 0,90 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Расчетные створы для гидравлического расчета канав расположены в точках *a*, *b*, *v*, *g*. Трубы необходимо устраивать на 145-м и на 162-м пикетах.

**Пример 39.** Определить размеры гидравлически наивыгоднейшего трапецидального сечения водоотводной канавы, проложенной в малоплотной глине, с коэффициентами откоса  $m_1 = m_2 = 1,5$  а также определить скорость и продольный уклон

канавы. Известно, что расчетный расход  $Q = 0,7 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а уклон дна канавы, исходя из особенностей проектной линии дороги, должен быть в пределах  $i_0 = 0,005 - 0,025$ .

Решение. 1. Определяем допустимую скорость потока. Для глины (табл. 10)  $v_d = 0,35 \text{ м/сек}$ .

2. Площадь живого сечения будет равна

$$\omega = \frac{0,7}{0,35} = 2,0 \text{ м}^2.$$

3. Найдем глубину и ширину канавы понизу, а также гидравлический радиус.

Из курса гидравлики известно, что наивыгоднейшее соотношение ширины канавы понизу  $b$  к глубине потока  $h$  определяется выражением

$$\frac{b}{h} = m' - 2m,$$

где  $m$  — средний коэффициент заложения откоса;

$$m' = 2\sqrt{1 + m^2}.$$

Принимая это соотношение и учитывая формулу (75), получим:

а) глубина потока

$$h = \sqrt{\frac{\omega}{2\sqrt{1+m^2}-m}} = \sqrt{\frac{2,0}{2\sqrt{1+1,5^2}-1,5}} = 1,0 \text{ м};$$

б) ширина канавы по дну

$$b = 2h(\sqrt{1+m^2}-m) = 2 \cdot 1,0 (\sqrt{1+1,5^2}-1,5) = 0,60 \text{ м};$$

в) гидравлический радиус

$$R = \frac{\omega}{2h\sqrt{1+m^2}+b} = \frac{2,0}{2\sqrt{1+1,5^2}+0,6} = 0,476 \text{ м}.$$

4. По формуле Н. Н. Павловского (26) определим коэффициент Шези

$$C = \frac{R^y}{n} = \frac{0,476^{0,225}}{0,025} = 33,9 \text{ м}^{0,5}/\text{сек},$$

где  $n$  — коэффициент шероховатости, принятый из табл. 18, как для земляных каналов в хорошем состоянии, а  $y$  — показатель степени (табл. 9).

5. Продольный уклон

$$i_0 = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{0,35^2}{33,9^2 \cdot 0,476} = 0,00022.$$

Такой уклон не может быть допущен по условию примера. Принимаем минимально допустимое значение уклона, т. е.  $i_0 = 0,005$ .

6. Определяем скорость при этом уклоне

$$v = C \sqrt{R i_0} = 33,9 \sqrt{0,476 \cdot 0,005} = 1,61 \text{ м/сек}.$$

Эта скорость больше максимально допускаемой для мало-плотной глины, а следовательно, необходимо подобрать тип крепления стенок и дна канавы.

7. По данным табл. 10 в качестве укрепления принимаем одиночное мощение на мху. При этом мощении допускаемая скорость  $v = 2,00 - 2,50 \text{ м/сек}$ . Принимаем допускаемую скорость  $v_d = 2,0 \text{ м/сек}$  и произведем пересчет размеров поперечного профиля канавы.

### 8. Площадь живого сечения

$$\omega = \frac{0,7}{2,0} = 0,35 \text{ м}^2.$$

### 9. Глубина потока

$$h = \sqrt{\frac{\omega}{2\sqrt{1+m^2}-m}} = \sqrt{\frac{0,35}{2\sqrt{1+1,5^2}-1,5}} = 0,41 \text{ м.}$$

### 10. Ширина канавы по дну

$$b = 2h(\sqrt{1+m^2}-m) = 2 \cdot 0,41 (\sqrt{1+1,5^2}-1,5) = 0,25 \text{ м.}$$

### 11. Гидравлический радиус

$$R = \frac{h}{2} = \frac{0,41}{2} = 0,20 \text{ м.}$$

### 12. Коэффициент Шези

$$C = \frac{R^y}{n} = \frac{0,20^{0,225}}{0,025} = 28,6 \text{ м}^{0,5}/\text{сек},$$

где значение  $n = 0,025$  принято, как для бульжной мостовой.

### 13. Определим продольный уклон

$$i_0 = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{2,0^2}{28,6^2 \cdot 0,20} = 0,024.$$

Этот уклон находится в заданных пределах.

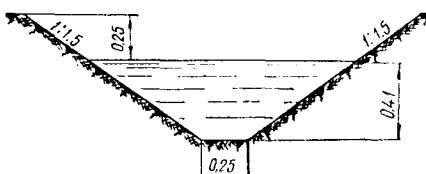


Рис. 5—34. Трапецидальная водоотводная канава гидравлически наивыгоднейшего сечения (размеры в метрах)

Гидравлически наивыгоднейшее сечение водоотводной канавы представлено на рис. 5—34. Причем возвышение бровки над уровнем воды здесь принято 0,25 м.

**Пример 40.** Используя формулу профессора Е. В. Болдакова, вычислить размеры гидравлически наивыгоднейшего сечения нагорной канавы, необходимой для перехвата и отвода

стекающей со склона воды, если слой ливневого стока  $h_c = 12 \text{ мм}$ , потери стока  $z = 5 \text{ мм}$ , водосборная площадь  $F = 0,25 \text{ км}^2$ , коэффициенты откоса  $m_1 = 1,25$  и  $m_2 = 1,0$ , грунты гравели-

стые, а продольный уклон должен быть в пределах  $i = 0,01 - 0,02$ .

**Решение.** 1. Определяем расход воды от ливневого стока по формуле (70):

$$Q = 0,56 (h_c - z) F = 0,56 (12 - 5) \cdot 0,25 = 0,98 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

2. Высчитываем допускаемую скорость. Для гравелистых грунтов средней крупности (табл. 10) при  $h_{cp} = 0,4 \text{ м}$   $v_{max} = 0,9 \text{ м/сек.}$  Принимаем ее за расчетную ( $v_d$ ).

3. Площадь живого сечения

$$\omega = \frac{Q}{v_d} = \frac{0,98}{0,9} = 1,09 \text{ м}^2.$$

4. Далее находим:

a) глубину наполнения канавы

$$h = \sqrt{\frac{\omega}{m' - m}} = \sqrt{\frac{1,09}{3,01 - 1,125}} = 0,78 \text{ м},$$

$$\text{где } m = \frac{m_1 + m_2}{2} = \frac{1,25 + 1,0}{2} = 1,125;$$

$$m' = \sqrt{1 + m_1^2} + \sqrt{1 + m_2^2} = \sqrt{1 + 1,25^2} + \sqrt{1 + 1,0^2} = 3,01;$$

b) ширину канавы по дну

$$b = h(m' - 2m) = 0,78(3,01 - 2 \cdot 1,125) = 0,59 \text{ м};$$

г) гидравлический радиус

$$R = \frac{h}{2} = \frac{0,78}{2} = 0,39 \text{ м.}$$

5. По табл. 46 для канав, проложенных в гравелистых грунтах с обычным состоянием поверхности,  $n = 0,027$ . Зная  $R$  и  $n$ , по формуле Маннинга (80) найдем коэффициент Шези:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} = \frac{1}{0,027} \cdot 0,39^{\frac{1}{6}} = 31,6 \text{ м}^{0,5}/\text{сек.}$$

6. Определим продольный уклон

$$i = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{0,9^2}{31,6^2 \cdot 0,39} = 0,002.$$

Этот уклон выходит за пределы, заданные в условии примера, и поэтому не может быть принят.

7. Зададимся уклоном  $i = 0,01$  и высчитаем скорость при этом уклоне, оставив прежними  $C$  и  $R$ :

$$v = 31,6 \sqrt{0,39 \cdot 0,01} = 1,98 \text{ м/сек.}$$

Полученная скорость больше допускаемой, и поэтому необходимо подобрать тип крепления стенок и дна канавы.

8. Принимаем одиночное мощение dna и стенок канавы из булыжника размером 15 см, при котором допустимая скорость (табл. 10)  $v_d = 2 \text{ м/сек.}$

9. Определим размеры канавы, приняв за расчетную скорость  $v_d = 2 \text{ м/сек}$ :

$$\omega = \frac{Q}{v_d} = \frac{0,98}{2} = 0,49 \text{ м}^2;$$

$$h = \sqrt{\frac{\omega}{m' - m}} = \sqrt{\frac{0,49}{3,01 - 1,125}} = 0,52 \text{ м};$$

$$b = h(m' - 2m) = 0,52(3,01 - 2 \cdot 1,125) = 0,40 \text{ м};$$

$$R = \frac{h}{2} = \frac{0,52}{2} = 0,26 \text{ м.}$$

10. Для бульжной мостовой коэффициент шероховатости  $n = 0,025$ , а следовательно, коэффициент Шези будет равен

$$C = \frac{0,26^{\frac{1}{6}}}{0,025} = 31,9 \text{ м}^{0.5}/\text{сек.}$$

11. Продольный уклон при принятой скорости равен

$$i = \frac{v^2}{C^2 R} = \frac{2^2}{31,9^2 \cdot 0,26} = 0,015.$$

Этот уклон находится в заданных пределах.

Ответ. Глубина канавы  $h = 0,52 \text{ м}$ , ширина по дну  $b = 0,40 \text{ м}$ , продольный уклон  $i = 0,015$ , крепление дна и стеконок — одиночное мощение бульжника на мху.

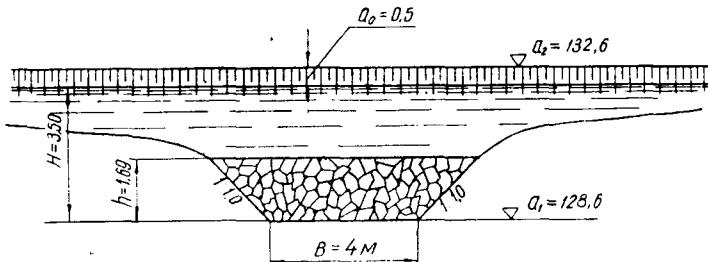


Рис. 5—35. Поперечное сечение фильтрующей дамбы

**Пример 41.** Определить размеры каменной наброски (дамбы) из камня угловатой формы со средним диаметром, приведенным к шару,  $d = 35 \text{ см}$  и коэффициентом пористости  $\rho = 0,50$ , устраиваемой в основании насыпи автомобильной лесовозной дороги для пропуска расхода  $Q = 3 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Размеры поперечного сечения каменной наброски и русла показаны на рис. 5—35.

Ширина земляного полотна поверху  $B = 8 \text{ м}$ . Продольный уклон лога  $i = 0,15$ , грунт скальный. Бытовая глубина  $h_6 = 0,8 \text{ м}$ . Расстояние от подпертого горизонта до бровки насыпи  $a_0 = 0,5 \text{ м}$ .

**Решение.** 1. В целях уменьшения каменной наброски

принимаем напорную фильтрующую дамбу. Допустимая глубина воды перед дамбой равна  $H = a_2 - a_1 - a_0 = 132,6 - 128,6 - 0,5 = 3,5 \text{ м.}$

2. Длина фильтрующей дамбы при ширине земляного полотна  $B = 6 \text{ м}$  и коэффициентах откосов  $m = 1,5$  определится из выражения

$$S = B + 2mH_n = 8 + 2 \cdot 1,5 \cdot 4 = 20 \text{ м},$$

где  $H_n$  — высота насыпи, включая каменную наброску.

3. Гидравлический градиент равен

$$I = \frac{H - h_0}{S} + i_0 = \frac{3,5 - 0,8}{20} + 0,15 = 0,285.$$

4. Коэффициент фильтрации при заданном размере камней подсчитаем по формуле

$$K = \rho \left( 20 - \frac{5}{d} \right) V d = 0,5 \left( 20 - \frac{5}{35} \right) V 35 = 58,6 \text{ см/сек.}$$

5. Площадь поперечного сечения фильтрационного потока найдем по формуле

$$\omega = \frac{Q}{KV^I} = \frac{3}{0,586 V 0,285} = 9,6 \text{ м}^2.$$

6. В связи с тем, что каменная наброска укладывается на скальный грунт, делать обратный фильтр нет необходимости. Ложе не будет размываться потоком воды.

Высота каменной наброски трапецидального сечения при ширине понизу  $B = 4 \text{ м}$  и коэффициентах откосов  $m = 1,0$  будет равна

$$h = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4m\omega}}{2m} = \frac{-4 + \sqrt{16 + 4 \cdot 1 \cdot 9,6}}{2 \cdot 1} = 1,69 \text{ м.}$$

Ответ. Площадь поперечного сечения каменной наброски  $\omega = 9,6 \text{ м}^2$ , толщина слоя  $h = 1,69 \text{ м}$ , ширина понизу  $B = 4 \text{ м.}$

## 5—10. ЗАДАЧИ

263. По плану местности в горизонталях (рис. 5—36) установить водоразделы и тальвеги. Обозначить на плане бассейн реки Быстрой и определить площадь водосбора для указанных на плане створов: I, II, III, IV. Вычислить расчетные характеристики водосборов.

264. Составить морфологическую характеристику бассейна рек  $N$  (из таблицы). Выявить влияние основных показателей бассейна на расчетные параметры стока поверхностных вод и показать выявленные зависимости в виде таблиц и графиков. Пользоваться картой рек БССР.

265. Участок автомобильной лесовозной дороги Цирин —

Красное, как показано на рис. 5—37, пересекает два водораздела и один лог.

Принимая масштаб местности 1: 100 000, определить средний уклон лога, уклон лога под мостом и площадь водосбора.

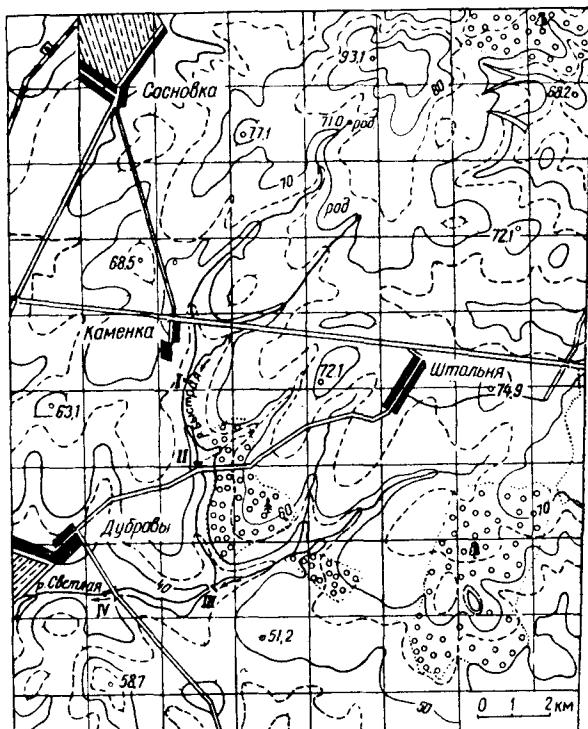


Рис. 5—36. План местности в горизонталях. Масштаб 1 : 200 000

266. По данным предыдущей задачи вычислить средние уклоны склонов водосборной площади и средневзвешенное расстояние протекания поверхностных вод. Обозначить направления стекания воды с различных точек поверхности.

267. Площадь бассейна реки К., протекающей по территории Белоруссии,  $F = 50 \text{ км}^2$ . Длина бассейна  $L = 20 \text{ км}$ , нижняя половина бассейна покрыта травой и редким кустарником, а верхнюю покрывает лес средней густоты. Почвы по впитываемости относятся к III категории.

Определить объем ливневого стока 2%-ной обеспеченности за время водоотдачи  $t_b = 20$  мин.

268. Определить фактическую продолжительность водоотдачи с бассейна [12], если слой ливневого стока  $h_c = 25 \text{ мм}$ ,

расчетная продолжительность водоотдачи  $t_b = 20$  мин, бассейн покрыт травой и кустарником.

269. Определить расчетные характеристики, учитывающие влияние озер, болот и лесов на величину снегового стока, если водосборная площадь  $F = 18 \text{ км}^2$  и расположена в БССР, площадь озер  $F_{\text{оз}} = 3 \text{ км}^2$ , болот —  $F_b = 8 \text{ км}^2$ , а редкий лес покрывает 70% всей водосборной площади.

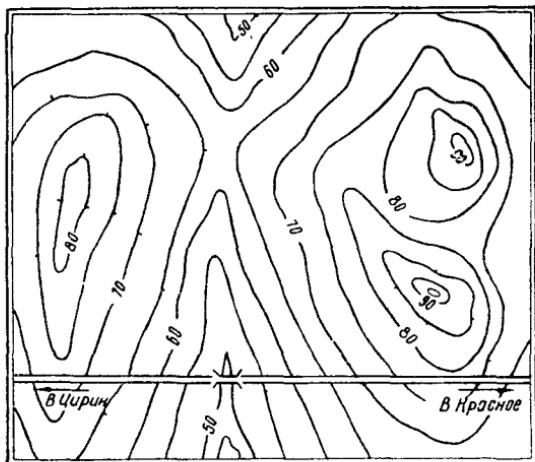


Рис. 5—37. Участок местности в горизонталях

270. Определить площадь живого сечения, смоченный períметр и гидравлический радиус при условии, что глубина потока в русле  $h = 0,9 \text{ м}$ , а ширина русла по дну и коэффициенты откосов изменяются в пределах  $b = 0 \rightarrow 0,6 \text{ м}$ ,  $m_1 = m_2 = 0 \rightarrow 2$ .

271. Трапецидальное, прямоугольное и треугольное русла имеют одинаковую площадь живого сечения  $\omega = 0,4 \text{ м}^2$ . Определить и сравнить пропускную способность этих русел, принимая коэффициент шероховатости  $n = 0,017$  и продольный уклон  $i = 0,009$ . Коэффициентами откоса необходимо задаться.

272. Для устьевого створа определить геометрические характеристики бассейна р. Свислочи, протяжение или длину бассейна, его среднюю и наибольшую ширину, коэффициент ширины бассейна, коэффициент удлинения водораздельной линии, степень асимметричности бассейна.

273. Пользуясь методом профессора Е. В. Болдакова, определить максимальный расход ливневого стока для бассейна с водосборной площадью  $F = 20 \text{ км}^2$ , расположенного на территории Белоруссии. Длина бассейна  $L = 10 \text{ км}$ , рельеф равнинный с уклоном главного лога  $i_L = 0,004$ , почвы супесчаные, задернованные густой травой, озера на площади занимают 1%. Расчетная обеспеченность  $p = 2\%$ .

274. Вычислить ливневый сток с бассейна площадью  $F = 5 \text{ км}^2$ , расположенного на Северном Кавказе. Известно, что длина бассейна  $L = 4 \text{ км}$ , почвы относятся ко II категории, растительный покров — лес средней густоты и кустарник, рельеф — горный со средним уклоном  $i_{\text{л}} = 35^\circ/\text{oo}$ . Обеспеченность 4%.

275. Определить максимальный расход ливневого стока 1% обеспеченности, принимая следующие исходные данные: площадь водосбора  $F = 1,84 \text{ км}^2$ , длина по главному логу  $L = 2,1 \text{ км}$ , сумма длин логов промежуточной системы  $\Sigma l = 2,7 \text{ км}$ , уклоны главного лога и склонов  $i_{\text{л}} = i_{\text{с}} = 22^\circ/\text{oo}$ , коэффициенты шероховатости главного лога и склонов  $m_{\text{л}} = 20$ ,  $m_{\text{с}} = 30$ , коэффициент береговых откосов русла  $\alpha = 2,5$ . Категория почв IV, ливневый район № 2, относительная залесенность, заболоченность и озерность соответственно:  $L = 13,6\%$ ,  $B = 5\%$ ,  $Oz = 0\%$ , средняя залесенность  $L_{\text{ср}} = 5\%$ , макс. лин. размер бассейна  $D = 2,27 \text{ км}$ .

276. По методу Д. Л. Соколовского определить расход снегового стока 1%-ной обеспеченности на реке М, если известно, что площадь бассейна  $F = 160 \text{ км}^2$  и центр его расположен в точке с координатами  $59^\circ$  с. ш. и  $31^\circ$  в. д. Залесенность (насаждения средней густоты) бассейна  $L = 65\%$ , заболоченность  $B = 40\%$  и озерность  $Oz = 2\%$ . Значение максимальной интенсивности стока взять по карте изолиний (рис. 5—38).

277. Установить морфологические характеристики бассейна р. Оби для створа у г. Барнаула.

278. Определить объем снегового стока с бассейна площадью  $F = 33 \text{ км}^2$ , расположенного в Гомельской области. Длина бассейна  $L = 12 \text{ км}$ , расчетная обеспеченность  $p = 4\%$ .

279. Определить максимальные весенние расходы 1, 2, 4 и 10%-ной обеспеченностей для р. Лужайки у с. Зеленый Бор по данным наблюдений водомерного поста за 18 лет.

Годы наблюдений	Максимальный годовой расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	Годы наблюдений	Максимальный годовой расход, $\text{м}^3/\text{сек}$	Годы наблюдений	Максимальный годовой расход, $\text{м}^3/\text{сек}$
1946	804	1952	573	1958	863
1947	937	1953	845	1959	948
1948	893	1954	991	1960	737
1949	752	1955	1023	1961	927
1950	669	1956	712	1962	963
1951	730	1957	789	1963	625

280. Чему равняется максимальный ливневый расход 4%-ной обеспеченности, если бассейн реки площадью  $F = 4 \text{ км}^2$  отно-

сится к ливневому району № 10, почвы глинистые, коэффициент полноты стока  $\phi = 0,25$ , а коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения осадков, озерности и заболоченности, равны 1?

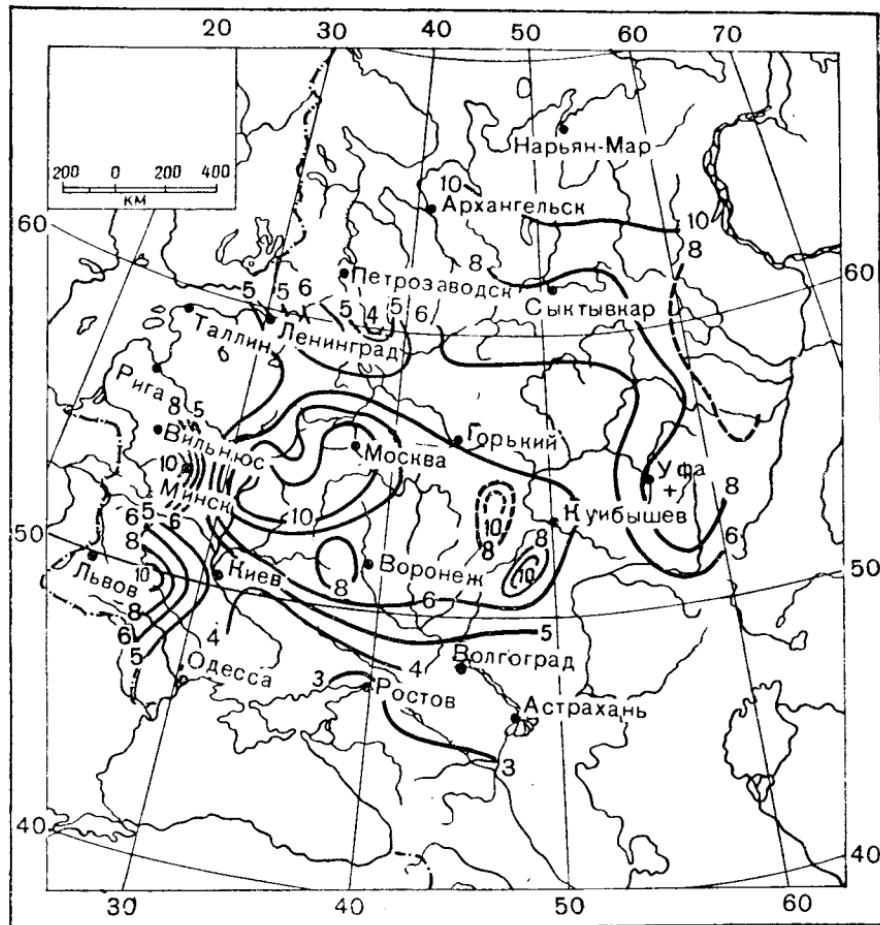


Рис. 5—38. Карта изолиний параметра  $A_{1\%}$ , входящего в формулу Д. Л. Соколовского

281. Вычислить расход смешанного стока реки Д, протекающей на территории Вологодской области. Площадь бассейна  $F = 40 \text{ км}^2$ , длина  $L = 14 \text{ км}$ . Ложе реки извилистое и заросшее, средний уклон  $i_{\text{л}} = 7\%$ , слой ливневого стока  $h_c = 13 \text{ мм}$ , вероятность превышения паводка 1 раз в 50 лет.

282. Площадь бассейна ручья  $F = 3 \text{ км}^2$ . Модуль снегового стока  $M = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{сек с 1 м}^2$  площади бассейна. Определить максимум снегового стока.

283. Определить, во сколько раз увеличится снеговой сток с бассейна  $F$ , если интенсивность снеготаяния на всей площади бассейна возрастет с  $1,2$  до  $3,6 \text{ мкм/сек}\cdot\text{м}^2$ .

284. Площадь водосборного бассейна  $F = 250 \text{ га}$ , расчетный модуль снегового стока  $M = 2 \text{ мкм/сек}\cdot\text{м}^2$ , интенсивность весеннего дождя  $A = 1,5 \text{ мкм/сек}$ , коэффициент полноты дождевого стока  $\psi = 0,7$ . Определить расход смешанного стока.

285. Определить расход снегового стока, принимая интенсивность снеготаяния  $a = 1,47 \text{ мкм/сек}$ , площадь водосбора  $F = 10 \text{ км}^2$ , а относительную залесенность, заболоченность и озерность соответственно:  $L = 20\%$ ,  $B = 30\%$ ,  $Oz = 10\%$ .

286. Определить средний максимальный расход весеннего половодья и максимальный расход 5%-ной обеспеченности р. Вилии (с притоком Уша) у г. Вилейки.

Площадь бассейна  $F = 2500 \text{ км}^2$ , а центр его расположен в точке с координатами  $50^\circ 30' \text{ с. ш.}, 27^\circ 30' \text{ в. д.}$  Залесенность бассейна  $L = 30\%$ , заболоченность  $B = 12\%$ . Лесные насаждения характеризуются коэффициентом  $K = 0,60$ . Средняя залесенность района  $L_{cp} = 20\%$ , а средняя густота характеризуется коэффициентом  $K_{cp} = 0,30$ .

287. Определить расход воды кювета, водосборная площадь которого  $F = 0,25 \text{ км}^2$ . Расчетный слой ливневого стока для данного района  $h_c = 17 \text{ мм}$ , а потери на впитываемость почв и смачивание растительности  $z = 5 \text{ мм}$ .

288. Определить предельную длину водосборной боковой дорожной канавы по условиям ее наполнения. Размеры канавы: ширина по дну  $b = 0,4 \text{ м}$ , глубина наполнения  $h = 0,8$ , коэффициенты откоса  $m_1 = m_2 = 1,5$ . Допустимая скорость потока  $v_d = 0,6 \text{ м/сек}$ . В канаву стекает вода с дороги и прилегающей территории. Слой стока с учетом потерь  $h_s = 11 \text{ мм}$ . Среднее расстояние от оси дороги до водораздельной линии  $0,3 \text{ км}$ .

289. Какое количество воды будет накапливаться в пруде перед мостом, пропускная способность которого  $Q_{coop} = 60 \text{ м}^3/\text{сек}$ , если максимальный расход ливневого стока  $Q_d = 80 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а полный объем стока  $W = 150 \text{ тыс. м}^3$ .

290. Определить по методу аналогии максимальный весенний расход 10%-ной обеспеченности реки К у поселка Р. Площадь водосбора реки К  $F = 110 \text{ км}^2$ , залесенность 40%, заболоченность 2%.

В качестве аналога взять реку Л, протекающую в том же районе, у которой площадь водосбора до створа аналога  $F' = 1000 \text{ км}^2$ , залесенность 25%, заболоченность 1%, а максимальный расход 10%-ной обеспеченности, полученный на основании многолетних наблюдений,  $Q_{10\%} = 400 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

291. Две реки протекают по территории района, имеющего одинаковые метеорологические условия. Морфологические харак-

теристики бассейнов существенной разницы не имеют. На реке № 1 в створе, водосборная площадь которого  $F_1 = 184 \text{ км}^2$ , расположен водомерный пост. Максимальный расход реки № 1 5%-ной обеспеченности по фактическим данным этого поста  $Q_{5\%} = 75 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Определить расходы 5%-ной обеспеченности реки № 2 в створах, водосборные площади которых соответственно равны:  $F'_2 = 82 \text{ км}^2$ ;  $F''_2 = 150 \text{ км}^2$ ;  $F'''_2 = 368 \text{ км}^2$ .

292. Определить расход воды, который может пропустить железобетонная труба диаметром  $d = 1,25 \text{ м}$  с раструбным оголовком в условиях незатопленного безнапорного истечения. Глубина воды перед входом в трубу  $H = 1,0 \text{ м}$ .

293. Определить диаметр безнапорной железобетонной трубы, принимая известными: расчетный расход  $Q = 0,8 \text{ м}^3/\text{сек}$ ; степень наполнения  $S_0 = 0,85$  и коэффициент скорости  $\varphi = 0,70$ .

294. Расчетный расход реки  $Q = 5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , допускаемая скорость течения воды  $v_d = 0,8 \text{ м}/\text{сек}$ , сечение русла треугольное, симметричное, с крутизной дна  $1:5$ , устои с выступающими конусами. Вычислить площадь живого сечения подмостового русла и изобразить ее на схеме.

295. Определить отверстие малого моста с конусами для пропуска расхода  $Q = 7 \text{ м}^3/\text{сек}$ . Продольный уклон русла  $i = 0,0025$ , поперечное сечение трапецидальное, ширина понизу  $b = 10 \text{ м}$ , коэффициенты откоса  $m = 2$ . Грунт — песок крупный с примесью гравия.

296. Рассчитать круглую железобетонную трубу с порталым оголовком при затопленном безнапорном режиме истечения воды. Исходные данные: расчетный расход  $Q = 0,9 \text{ м}^3/\text{сек}$ , бытовая глубина  $h_b = 0,8 \text{ м}$ , степень наполнения  $S_0 = 0,8$ . Коэффициенты сжатия  $\varepsilon = 0,7$ , кинетической энергии  $\alpha = 1,0$ .

297. Для пропуска воды, стекающей по логу, у основания земляного полотна дороги уложена железобетонная труба диаметром  $d = 1,0 \text{ м}$ . Бытовая глубина  $h_b = 0,6 \text{ м}$ , коэффициент сжатия  $\varepsilon = 0,8$ , коэффициент скорости  $\varphi = 0,9$ .

Определить, при каком расходе в трубе будет сохраняться безнапорный подтопленный режим работы, а коэффициент наполнения  $S_0 = 0,9$ .

298. Определить необходимую высоту прямоугольной деревянной трубы без оголовка, которая была бы в состоянии пропускать расход  $Q = 1,2 \text{ м}^3$  со скоростью потока  $v_d = 2,0 \text{ м}/\text{сек}$ . Бытовая глубина  $h_b = 0,65 \text{ м}$ , коэффициенты скорости  $\varphi = 0,8$ , сжатия потока  $\varepsilon = 0,7$ , степени наполнения  $S_0 = 0,90$ .

299. Высота прямоугольной железобетонной трубы  $h_t = 1,6 \text{ м}$ , ширина  $B = 1,2 \text{ м}$ , бытовая глубина  $h_b = 0,8 \text{ м}$ , критическая глубина  $h_k = 1,0 \text{ м}$ .

Коэффициент сжатия потока  $\varepsilon = 0,8$ , коэффициент скорости

$\varphi = 0,9$ . Определить пропускную способность трубы при степени наполнения  $S_0 = 0,8$ .

300. Известно, что подтопленная безнапорная труба прямоугольного сечения имеет высоту  $h_t = 1,4 \text{ м}$  и ширину  $b = 1,05 \text{ м}$ . Коэффициент скорости  $\varphi = 0,7$ , коэффициент сжатия  $\epsilon = 0,75$  и наполнения  $S_0 = 0,80$ . Бытовая глубина  $h_b = 0,7 \text{ м}$ . Требуется вычислить расход.

301. Используя данные задачи 299 и принимая коэффициент шероховатости бетонной поверхности  $n = 0,017$ , определить критический уклон трубы и пределы возможных ее уклонов.

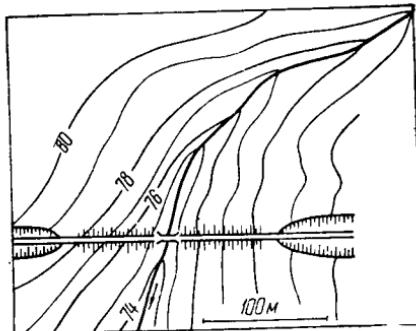


Рис. 5—39. Схема пересечения дороги с логом

укладки этой трубы. Известно, что допускаемая скорость потока  $v_d = 3,0 \text{ м/сек}$ , продольный уклон лога  $i_0 = 0,009$ , глубина воды за трубой  $h_b = 0,7 \text{ м}$ .

304. Рассчитать напорную железобетонную трубу по данным: расчетный расход воды  $Q = 2,6 \text{ м}^3/\text{сек}$ , бытовая глубина потока  $h_b = 0,8 \text{ м}$ , продольный уклон русла  $i_0 = 0,006$ , ширина земляного полотна поверху  $B = 8 \text{ м}$ .

Начертить продольный и поперечный профили дороги и показать на них расположение трубы.

305. Для пропуска воды через земляное полотно высотою  $H = 4,65 \text{ м}$  уложена железобетонная труба диаметром  $d = 1,25 \text{ м}$ . Расчетный расход  $Q = 5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а полный объем стока  $W = 40 \text{ тыс. м}^3$ .

Определить объем пазухи, которую необходимо иметь перед трубой для аккумуляции воды.

306. Определить объем воды, которая может аккумулироваться в пазухе, представленной на рис. 5—39, если известно, что диаметр трубы  $d = 1,5 \text{ м}$ , а проектная отметка насыпи  $H = 78,4 \text{ м}$ .

307. Определить бытовую глубину потока для русла, сечение которого показано на рис. 5—40, если расчетный расход

302. Определить коэффициент скорости для напорной железобетонной дорожной трубы, диаметр которой  $d = 1,2 \text{ м}$  и длина  $L = 14 \text{ м}$ . Входной оголовок с расходящимися откосными крыльями, коэффициент сопротивления на вход в трубу  $\xi_{\text{вх}} = 0,25$ , коэффициент шероховатости  $n = 0,016$ .

303. Определить пропускную способность трубы, основная характеристика которой дана в задаче 302, и высоту насыпи в местах

$Q = 16 \text{ м}^3$ , продольный уклон  $i_d = 0,005$ , а коэффициент шероховатости  $n = 0,03$ .

308. Определить диаметр круглой железобетонной трубы без входного оголовка для пропуска расхода  $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$  и скорость в конце этой трубы, если известно, что труба незаполненная, коэффициент шероховатости  $n = 0,013$  и продольный уклон лога  $i_0 = 0,04$ .

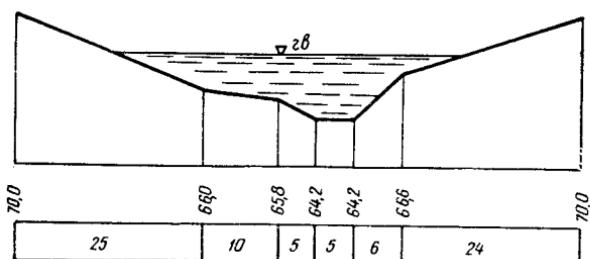


Рис. 5—40. Поперечное сечение русла

309. Определить отверстие моста, принимая за расчетные: расход  $Q = 18 \text{ м}^3/\text{сек}$ ; продольный уклон русла  $i_0 = 0,0025$ ; сечение русла трапецидальное,ширина понизу  $b = 6 \text{ м}$  и коэффициенты откосов  $m_1 = m_2 = 1,5$ ; допустимая скорость для лесковых грунтов  $v_d = 2,97 \text{ м}/\text{сек}$ .

310. Определить критическую глубину для прямоугольной фильтрующей насыпи шириной  $b = 14 \text{ м}$ , пропускающей расход  $Q = 2 \text{ м}^3/\text{сек}$  при коэффициентах пористости  $\rho = 0,45$  и бокового сжатия  $\varepsilon = 0,9$ .

311. Определить пропускную способность напорной фильтрующей дамбы прямоугольного поперечного сечения, если известны: высота фильтрующей прослойки  $A = 1,5 \text{ м}$ , ширина фильтрующей прослойки  $B = 6 \text{ м}$ , ширина фильтрующей дамбы (земляного полотна)  $S = 12 \text{ м}$ , коэффициент фильтрации  $K = 0,3 \text{ м}/\text{сек}$ , напор перед дамбой  $H = 3 \text{ м}$ , бытовая глубина  $h_b = 0,7 \text{ м}$ , продольный уклон лога  $i_0 = 0,2$ .

312. Определить пропускную способность безнапорной фильтрующей дамбы параболического сечения, если известны: коэффициент фильтрации  $K = 0,50 \text{ м}/\text{сек}$ , пористость  $\rho = 0,50$ , продольный уклон  $i_0 = 0$ , напор перед насыпью  $H = 1,5 \text{ м}$ , бытовая глубина  $h_b = 0,3 \text{ м}$ , ширина насыпи  $S = 12 \text{ м}$ , очертание поперечного сечения описывается уравнениями: левой части —  $y_1 = 2\sqrt{z}$ , правой части —  $y_2 = 3\sqrt{z}$ .

313. Расчетный расход реки  $Q = 6 \text{ м}^3/\text{сек}$ , продольный уклон русла  $i_0 = 50\%$ , коэффициент шероховатости  $n = 0,04$ . Данные измерения поперечного сечения русла (м) следующие:

расстояние от начальной точки

0	5	10	15	20	25	30	35
83,5	82,8	81,7	80,2	79,7	81,6	83,0	83,6

Определить отверстие моста и необходимую высоту (отметку) насыпи возле него.

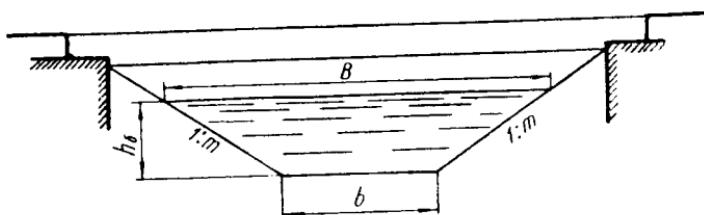


Рис. 5—41. Трапециoidalное сечение потока под мостом

314. Малое искусственное сооружение, сечение которого показано на рис. 5—41, работает, как затопленный водослив с широким порогом. Ширина русла понизу  $b = 3 \text{ м}$ , глубина

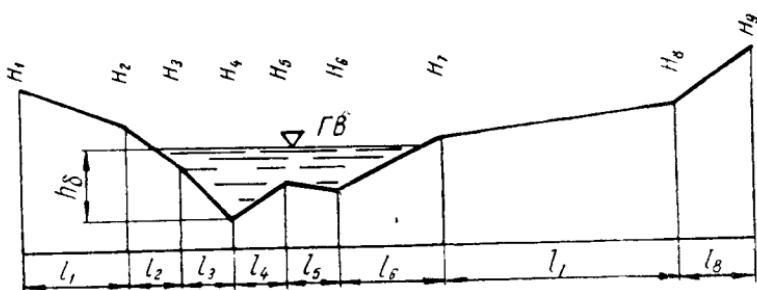


Рис. 5—42. Схема поперечного сечения русла реки

воды за мостом  $h_6 = 1,0$ , коэффициенты откосов  $m = 1,25$ , принятые укрепление русла под мостом соответствует фактической пропорции потока, коэффициент шероховатости  $n = 0,035$ , продольный уклон  $i_0 = 0,003$ .

Определить пропускную способностьнского сооружения.

315. Определить отверстия мостов, воспользовавшись схемой (рис. 5—42) и данными следующей таблицы:

Значе- ния	Исходные данные для вариантов							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$l_1, м$	10	8	6	5	7	12	4	5
$l_2, м$	5	4	6	7	10	8	7	8
$l_3, м$	3	5	5	10	5	10	12	6
$l_4, м$	5	6	7	8	4	3	5	7
$l_5, м$	3	5	8	5	10	5	6	8
$l_6, м$	9	10	4	6	5	5	8	20
$l_7, м$	15	5	4	5	8	8	10	6
$l_8, м$	8	6	5	7	8	8	7	10
$H_1, м$	126,73	255,00	342,07	155,20	210,28	350,45	188,35	102,73
$H_2, м$	126,05	254,90	341,88	154,38	209,78	350,00	188,10	101,80
$H_3, м$	125,40	253,00	341,05	153,70	208,60	348,42	187,20	100,50
$H_4, м$	124,65	252,45	339,80	153,12	208,12	346,20	186,35	99,35
$H_5, м$	123,80	251,80	349,05	153,40	207,43	346,83	184,48	98,20
$H_6, м$	123,20	252,28	341,20	152,42	208,38	348,22	184,12	98,80
$H_7, м$	125,70	253,73	341,30	153,70	208,95	349,60	184,80	99,60
$H_8, м$	126,00	254,35	342,00	154,95	209,80	350,02	186,95	101,20
$H_9, м$	126,70	255,10	342,10	155,20	210,30	350,40	188,40	102,70
$Q, м^3/сек$	26	16	12	15,5	22	48	32	28
$i_0, \%$	5	1	3	2	4	6	7	3
$n$	0,025	0,030	0,035	0,040	0,028	0,032	0,037	0,033

В таблице обозначены:  $Q$  — расход;  $i_0$  — продольный уклон лога;  $n$  — коэффициент шероховатости русла реки.

316. Рассчитать малое искусственное сооружение автомобильной лесовозной дороги, предназначеннной для освоения лесных массивов в Костромской области. Исходными для расчета являются: площадь бассейна  $F = 10 \text{ км}^2$ , длина реки от истока до расчетного створа  $L = 5 \text{ км}$ , рельеф равнинный с преобладанием подзолистых почв, озерность в нижней части бассейна составляет 4 %. Поперечное сечение главного лога имеет правильную треугольную форму с крутизной склонов 1 : 2,5. Продольный уклон лога  $i_l = 3\%$ . Уклон склонов  $i_c = 20\%$ . Коэффициенты гидравлической шероховатости: русла  $m_l = 25$ ; склонов  $m_c = 30$ .

317. Расход реки при расчетном горизонте  $Q = 400 \text{ м}^3/\text{сек}$ , бытовая скорость при этом горизонте  $v_b = 2,5 \text{ м/сек}$  и коэффициент общего сжатия потока под мостом  $\varepsilon = 0,87$ . Определить

рабочую площадь моста, который будет сооружаться без струенаправляющих дамб.

318. Определить среднюю скорость воды под мостом, если известно, что рабочая площадь  $\omega_p = 150 \text{ м}^2$ , расход реки  $Q = 288 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а коэффициент сжатия  $\varepsilon = 0,8$ .

319. Поперечное сечение реки в створе пересечения ее автомобильной лесовозной дорогой представлено на рис. 5—43.

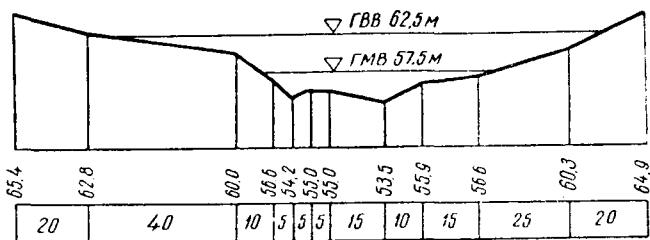


Рис. 5—43. Поперечное сечение реки с расчетными горизонтали.

Коэффициенты шероховатости: русла  $n_0 = 0,035$ , левой поймы  $n_l = 0,065$ , правой поймы  $n_r = 0,070$ , коэффициент общего сжатия потока  $\varepsilon = 0,75$ , грунты илистые.

Применяя метод гидравлических эквивалентов, определить потребную рабочую площадь под мостом.

320. По данным задачи 319 построить график накопления площадей, определить площадь моста между береговыми устоями и его отверстие. Выбрать типовой мост и наиболее выгодное положение его в пойме реки.

321. Определить среднюю глубину и коэффициент размыва русла, если известно, что рабочая площадь до размыва  $\omega_p = 400 \text{ м}^2$ , после размыва  $\omega_p = 460 \text{ м}^2$ , а отверстие моста  $L_m = 80 \text{ м}$ .

322. Определить пропускную способность большого моста со струенаправляющими дамбами. Известно, что бытовая скорость реки в основном русле при горизонте высоких вод  $v_6 = 1,8 \text{ м/сек}$ , рабочая площадь моста  $\omega_p = 150 \text{ м}^2$ , мост пятипролетный, длина пролета  $l = 10 \text{ м}$ , опоры прямоугольные.

323. Необходимая рабочая площадь под мостом  $\omega_p = 260 \text{ м}^2$ , коэффициент местного сжатия потока  $\mu = 0,92$ , относительная площадь опор  $\beta = 0,06$ .

Определить площадь живого сечения при ГВВ, которая должна быть заключена между береговыми опорами моста.

324. Вычислить живое сечение, смоченные периметры и гидравлические радиусы, а также определить расход воды при меженном и высоком горизонтах для реки, поперечное сечение которой показано на рис. 5—44. Коэффициенты шероховатости

руслы и пойм принять аналогично задаче 319, а их продольный уклон — равным  $2^{\circ}/\text{oo}$ .

325. Определить среднюю скорость движения воды в реке при паводковом горизонте (рис. 5—44), если известно, что продольный уклон главного русла и пойм  $i_0 = 0,003$ , коэффициенты шероховатости: русла  $n_0 = 0,040$ , левой поймы  $n_{\text{л}} = 0,07$ , правой  $n_{\text{п}} = 0,062$ , а показатель степени в формуле Н. Н. Павловского  $y = 0,25$ .

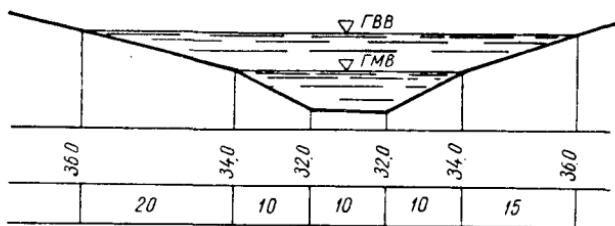


Рис. 5—44. Сечение русла реки

326. Запроектировать большой мост со струенаправляющими дамбами в створе реки, живое сечение которой показано на рис. 45, а характеристика главного русла и пойм дана в задаче 325. Грунты в русле реки суглинистые.

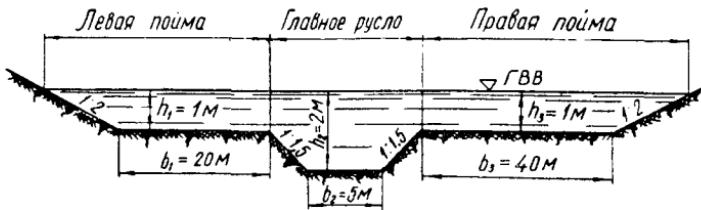


Рис. 5—45. Поперечный профиль реки

327. Используя метод сопоставления, предложенный Е. В. Болдаковым [13], определить величину расчетной площади под мостом. Исходные данные: натуральный коэффициент  $E = 2 \cdot 10^{-6}$ , площадь бассейна реки до рассматриваемого створа  $F = 150 \text{ km}^2$ , геологический коэффициент  $\rho = 1,15$ , коэффициент общего сжатия потока  $\varepsilon = 0,9$ .

328. Определить расход и скорость воды в русле, форма и размеры которого показаны на поперечном профиле (рис. 5—45). Коэффициенты шероховатости: левой поймы  $n_{\text{л}} = 0,04$ , правой  $n_{\text{п}} = 0,03$  и главного русла  $n_0 = 0,02$ . Продольный уклон для пойм и главного русла  $i_0 = 0,0016$ . Показатель степени в формуле Н. Н. Павловского  $y = \frac{1}{6}$ .

329. Определить расход и скорость воды в русле, форма сечения которого и размеры показаны на рис. 5—46. Русло реки чистое, коэффициент шероховатости его  $n_0 = 0,03$ , пойма слегка заросшая и характеризуется коэффициентом  $n_n = 0,035$ . Продольный уклон реки  $i_0 = 0,0009$ . Коэффициент Шези вычислять по формуле Маннинга.

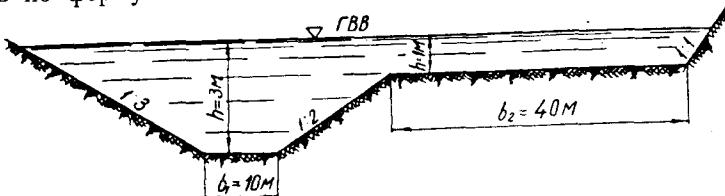


Рис. 5—46. Схема для определения расчетных характеристик реки

330. Вычислить отметку насыпи грунтовой автомобильной лесовозной дороги у малого моста, если известно, что отметка горизонта воды под мостом  $H = 92,5$  м, высота подпора  $\Delta h = 0,31$  м, река несплавная. Мост балочной конструкции: длина  $l = 6$  м, габарит  $\Gamma = 8$ .

331. Определить минимально необходимую высоту земляного полотна у места укладки дорожной водопропускной трубы, диаметр которой  $d = 1,25$  м, а толщина стенок звена  $\Delta d = 0,20$  м.

332. На судоходной реке запроектирован большой мост. Пролеты моста представляют собой параболические фермы с ездой понизу. Строительная толщина нижнего пояса  $K = 0,8$  м. Отметка горизонта высоких вод  $H = 123,7$  м.

Какую отметку должна иметь насыпь у моста?

333. Для пропуска воды через дорогу запроектирована железобетонная полунапорная труба с обтекаемым входным оголовком. Диаметр трубы  $d = 1,25$  м, скорость воды  $v = 3$  м/сек. Отметка лога у места установки трубы  $H = 75,16$  м, продольный уклон  $i_0 = 0$ .

Определить минимальную проектную отметку насыпи.

334. Определить, какую отметку должна иметь насыпь при подходе к железобетонному мосту, пролет которого  $l = 7,5$  м. Известно, что река не используется для сплава леса и судоходства, а максимальная отметка ледохода  $H_{\text{л}} = 136,38$  м.

335. Определить отметку настила большого моста, запроектированного для сплавной реки, если его железобетонные пролеты имеют длину  $l = 20$  м, а отметка горизонта высоких вод равна 77,58 м.

336. Отверстие большого семипролетного моста  $B = 80,6$  м, опоры железобетонные свайные (сечение свай  $0,35 \cdot 0,30$  м), средняя высота береговых устоев  $h_y = 5,0$  м, коэффициент заложения откосов конусов  $m = 1,5$ . Определить длину моста.

337. Отверстие однопролетного балочного моста  $B = 5,16$  м, а высота  $H_m = 3,4$  м. Береговые устои обсыпные. Расстояние от вершины конуса до начала моста  $q = 0,6$  м, крутизна откоса конуса 1:1. Глубина воды под мостом  $h_m = 1,8$  м. Определить длину моста и начертить его схему.

338. Однопролетный балочный мост предусматривается строить на береговых устоях с обратными стенками. Отверстие моста  $B = 7,5$  м, высота  $H = 2,6$  м, коэффициент откоса конусов  $m = 1$ .

Вычислить длину моста по настилу.

339. Определить длину железобетонной трубы диаметром  $d = 1$  м без входного оголовка, которую необходимо построить на месте пересечения насыпи с логом. Известно, что ширина насыпи поверху  $B = 8$  м, высота  $H = 1,8$  м, коэффициенты откосов  $m = 1,5$ , а продольный уклон лога  $i_l = 0,01$ .

340. Труба диаметром  $d = 1$  м и длиной  $L = 17$  м предназначена для укладки в логе, продольный уклон которого  $i_0 = 3\%$ . Высота насыпи  $H = 4$  м, ширина поверху  $B = 8$  м и коэффициенты откоса  $m = 1,5$ .

Определить величину смещения середины трубы относительно оси дороги.

341. Для пропуска воды через земляное полотно запроектирована труба с порталным оголовком. Диаметр ее  $d = 0,75$  м, длина  $L = 18$  м, толщина стенки  $\Delta d = 8$  см. Высота насыпи  $H = 3,85$  м, ширина между бровками  $B = 8$  м, крутизна откосов 1:1,5. Труба в насыпи будет укладываться под уклоном 25%, равным уклону лога. Определить расстояние от дороги до центров стенок входного и выходного оголовков.

342. Балочный мост со свайными опорами сопрягается с земляным полотном посредством отсыпных конусов. Средняя высота конусов  $H = 3$  м, ширина земляного полотна  $B = 6,5$  м, расстояние от кромки моста до вершины откоса  $q = 0,5$  м, коэффициент откоса конусов со стороны русла реки  $m_1 = 1,0$ , боковые  $m_2 = 1,25$ . Определить объем грунта в плотной массе, необходимый для отсыпки конусов, пренебрегая объемом свай.

343. Принимая размеры конусов из задачи 342, определить их боковую поверхность, подлежащую укреплению. Вычислить объем каменного материала и дерна, необходимых для укрепления откосов конусов. Расчетный уровень воды в реке на 1,6 м ниже отметки земляного полотна.

344. Начертить план и профили участка дороги (рис. 39) и показать сопряжение земляного полотна шириной  $B = 9$  м и коэффициентами откосов  $m = 1,5$  с железобетонной трубой, имеющей раstrubный оголовок и диаметр  $d = 1,5$  м.

345. Определить ширину по дну трапецеидальной водоотводной канавы с коэффициентами откоса  $m = 2,0$ , пропускающей

при глубине  $h = 1,2$  м и уклоне  $i = 0,8\%$  расход  $Q = 3,9 \text{ м}^3/\text{сек.}$ . Коэффициент шероховатости  $n = 0,02$ .

346. Определить, какой расход может пропускать трапецеидальная канава гидравлически наивыгоднейшего сечения с коэффициентами откоса  $m = 1,5$  при глубине  $h = 1,0$  м, уклоне  $i = 5\%$ , коэффициенте шероховатости  $n = 0,025$ .

347. Определить размеры гидравлически наивыгоднейшего сечения водоотводной канавы ( $n = 0,025$ ) трапецеидальной формы с заложением откосов  $m = 1,5$ , пропускающей при уклоне  $i = 0,0016$  расход  $Q = 0,9 \text{ м}^3/\text{сек.}$

348. Определить глубину наполнения треугольного кювета и максимально допускаемый уклон его дна для пропуска расхода  $Q = 0,08 \text{ м}^3/\text{сек}$  при  $m_1 = 3,0$ ,  $m_2 = 1,0$ , коэффициенте шероховатости  $n = 0,0225$ , скорости воды  $v = 0,8 \text{ м/сек.}$

349. Определить критическую глубину в кювете треугольного поперечного сечения, если расход воды в нем равен  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а коэффициенты откосов  $m = 1,5$ .

350. Определить критическую глубину в нагорной канаве прямоугольного сечения, если ширина ее  $b = 0,8$  м, а расчетный расход воды  $Q = 0,8 \text{ м}^3/\text{сек.}$

351. Определить скорость воды в отводном канале трапецеидального сечения. Продольный уклон этого канала равен критическому. Известно, что расход  $Q = 1,8 \text{ м}^3/\text{сек}$ , ширина канала понизу  $b = 1,5$  м, критическая глубина  $h_k = 0,48$  и коэффициенты заложения его откосов  $m_1 = m_2 = 1,0$ . Коэффициент Шези вычислить по формуле Н. Н. Павловского при коэффициенте шероховатости  $n = 0,0225$ .

352. Определить пропускную способность проложенного в лёссовом грунте водоотводного канала трапецеидальной формы и среднюю скорость движения воды по заданным элементам: ширина по дну  $b = 1,0$  м, глубина  $h = 0,5$  м, коэффициент заложения левого откоса  $m_1 = 1,5$ , правого  $m_2 = 2,0$  и продольный уклон  $i_0 = 0,005$ .

353. Определить продольный уклон треугольного заросшего кювета при заданных элементах: расход  $Q = 0,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , коэффициенты заложения откосов  $m_1 = 1,5$  и  $m_2 = 2,5$ , глубина наполнения  $h_0 = 0,8$  м, коэффициент шероховатости  $n = 0,030$ .

354. Определить расход и среднюю скорость в трапецеидальной водоотводной канаве, имеющей следующую характеристику: ширина канавы по дну  $b = 1,0$  м, коэффициенты откосов  $m_1 = m_2 = 1,5$ , продольный уклон  $i_0 = 0,02$ . Максимально допускаемая глубина воды в канаве  $h = 0,8$  м, коэффициент шероховатости  $n = 0,0285$ .

355. Определить максимальную глубину воды в дорожной канаве трапецеидального сечения, если расход  $Q = 1 \text{ м}^3/\text{сек}$ , продольный уклон дна  $i_0 = 0,003$ , ширина понизу  $b = 0,8$  м,

коэффициенты заложения откосов  $m = 1,0$ , а коэффициент шероховатости  $n = 0,02$ .

356. Критическая глубина воды в треугольном кювете  $h_k = 0,3 \text{ м}$ , крутизна откосов кювета  $1:1$  и  $1:3$ . Определить пропускную способность кювета.

357. Для перехвата воды, стекающей со склона горы к дороге, необходимо запроектировать трапецидальную нагорную канаву гидравлически наивыгоднейшего сечения. Расчетный расход  $Q = 2 \text{ м}^3/\text{сек}$ , продольный уклон  $i_0 = 0,0036$ . Принимая коэффициенты откосов  $m = 1,5$  и шероховатости  $n = 0,02$ , как для земляных канал правильной формы в хорошем состоянии, определить глубину наполнения канавы и ее ширину по дну.

358. Определить размеры гидравлически наивыгоднейшего трапецидального сечения канавы, необходимого для пропуска расхода  $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а также способ укрепления стенок и dna канавы. Коэффициенты откосов  $m_1 = m_2 = 1,75$ , грунт — плотная глина, продольный уклон  $i_0 = 0,0154$ .

359. Расход воды  $Q = 0,6 \text{ м}^3/\text{сек}$ , ширина по дну трапецидальной канавы  $b = 0,4 \text{ м}$ , глубина наполнения  $h = 0,6 \text{ м}$ , коэффициенты откоса  $m = 1,0$  и шероховатости  $n = 0,025$ . Определить минимальный продольный уклон канавы, при котором будет обеспечена необходимая пропускная способность.

360. Определить бытовую глубину потока и скорость воды в кювете при этой глубине по данным: расход  $Q = 0,6 \text{ м}^3/\text{сек}$ , коэффициенты откосов  $m = 1,5$ , продольный уклон  $i_0 = 0,01$ , коэффициент шероховатости  $n = 0,0225$ .

361. Запроектировать трапецидальную водосборную канаву на участке автомобильной дороги с уклонами:

длина участка, м	200	150	80	120	250
у克лоны, %	+ 8	- 4	- 30	- 12	- 15

Расчетный расход  $Q = 0,8 \text{ м}^3/\text{сек}$ , грунты суглинистые средней плотности, коэффициенты откосов  $m_1 = 2,0$ ,  $m_2 = 1,0$ .

362. Определить количество перепадов и расстояние между ними, если известно, что на участке длиной 1 км превышение равно 60 м, допустимый продольный уклон кювета  $i_0 = 25\%$ , а высота перепада  $h_n = 0,4 \text{ м}$ .

363. На крутом спуске, длина которого  $L = 800 \text{ м}$  и уклон  $i = 80\%$ , необходимо запроектировать ступенчатый кювет. Принимая длину ступени  $l = 10 \text{ м}$  и высоту перепада  $h_n = 0,5 \text{ м}$ , вычислить продольный уклон кювета.

364. Для отвода поверхностной воды вдоль дороги проложены трапецидальные канавы гидравлически наивыгоднейшего сечения. Коэффициенты откосов  $m = 1,0$ , ширина по дну  $b = 0,4 \text{ м}$ , продольный уклон  $i_0 = 0,0081$  и коэффициент шероховатости  $n = 0,02$ . На сколько возрастет расход и скорость потока, если глубина воды в канаве изменится с 0,3 до 0,5 м?

365. Запроектировать систему дорожного водоотвода на участке дороги  $A - B$  (рис. 5—47), если известно, что расчетный слой стока  $h_c = 12 \text{ мм}$ , грунты супесчаные, а земляное полотно проходит в насыпях высотой  $H = 0,2 - 0,8 \text{ м}$ .

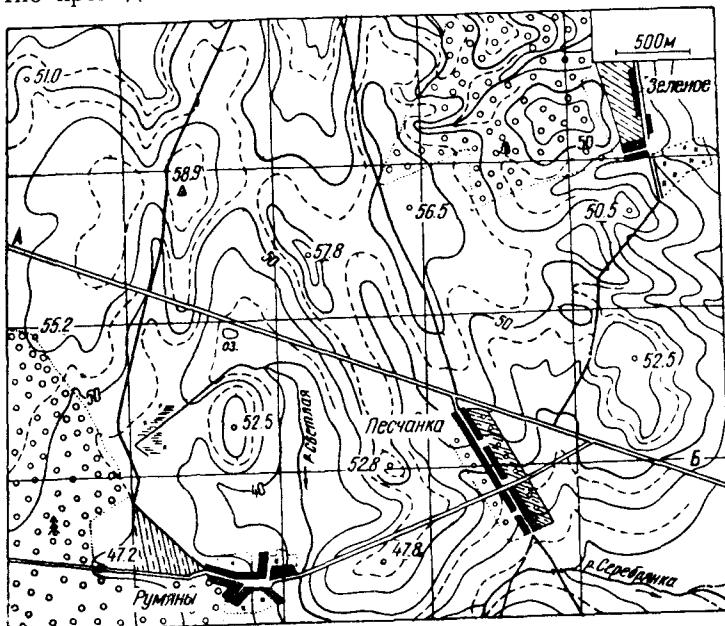


Рис. 5—47. Участок плана местности в горизонталях

366. Вдоль дороги, исходя из поперечного равновесия грунтовых масс и технологии строительства, должны быть заложены двухсторонние треугольные кюветы глубиною  $h = 0,6 \text{ м}$  и коэффициентами откосов  $m_1 = 3$ ,  $m_2 = 1$ . Грунты суглинистые средней плотности, расчетный расход  $Q = 0,05 \text{ м}^3/\text{сек.}$

Определить значение продольных уклонов, в пределах которых кюветы заданных размеров можно строить без укрепления.

## ГЛАВА ШЕСТАЯ

### СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Строительство дорог в лесозаготовительных предприятиях является центральным вопросом лесной промышленности. Около 25 % средств, отпускаемых на капитальное строительство, идет на сооружение лесовозных дорог. Они строятся как в период освоения новых производственных мощностей, т. е. при создании новых леспромхозов, так и в процессе их функционирования.

В дорожном строительстве занято большое количество рабочих, вооруженных современными дорожно-строительными машинами, механизмами и оборудованием. Для изыскания и проектирования дорог созданы специализированные институты, бюро, конторы и т. д.

Организация и технология строительства лесовозных дорог всецело зависит от типа и конструкции применяемых машин и механизмов, объема работ, темпов и условий строительства [49].

Строительство автомобильных лесовозных дорог чаще всего производится поточным методом с использованием необходимых дорожно-строительных машин и механизмов, позволяющих механизировать основные производственные процессы, наиболее трудоемкие операции. Опыт строительства дорог поточным методом подтверждает его прогрессивность и преимущества по сравнению с другими способами организации работ.

Выбор того или иного способа строительства дороги, обоснование технологических схем производства работ, определение потребного количества машин и механизмов, установление рациональных режимов работы машин и другие вопросы связаны с решением целого ряда технических и технико-экономических задач.

Так, например, для того чтобы решить вопрос о типе и коли-

честве землеройных машин, потребных для возведения в установленный срок насыпи заданного объема, необходимо уметь рассчитывать производительность различных машин, определять стоимость производства работ, сравнивать и выбирать рациональные варианты.

Рассмотрим основные методы расчета, применяемые при решении задач, связанных со строительством автомобильных лесовозных дорог.

## 6—1. ТЯГОВО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Используемые на строительстве автомобильных дорог машины и оборудование можно разделить на следующие группы.

1. Машины для подготовительных работ — трелевочные тракторы, кусторезы, корчеватели, рыхлители.

2. Машины для земляных работ — скреперы, бульдозеры, грейдер-элеваторы, прицепные грейдеры, автогрейдеры, канавокопатели, экскаваторы.

3. Машины для уплотнения грунтов и дорожных покрытий — прицепные кулачковые и гладкие катки, катки на пневматических шинах, самоходные гладкие катки, виброкатки, виброплиты.

4. Машины для улучшения грунтовых дорог и оснований, для постройки гравийных и щебеночных дорог — фрезы, грунтосмесительные машины, распределители каменной мелочи и минеральных вяжущих.

5. Машины для постройки черных и асфальтобетонных покрытий — автогудронаторы, битумовозы, асфальтобетонные смесители, асфальтоукладчики, распределители битума.

6. Машины и оборудование для постройки зимних лесовозных дорог — колеерезы, колесоочистители, бороны, снегоочистители, цистерны, треугольники.

7. Машины и оборудование для приготовления бетонных смесей и конструкций — бетономешалки, бетоносмесительные установки, бетоноукладчики.

8. Машины для добычи и переработки строительных материалов — сортировки, грохоты, гравиемойки, камнедробилки, мельницы.

9. Оборудование для постройки мостов и труб — лебедки, домкраты, насосные станции, копры, вибраторы, электро- и пневмоинструмент.

Тягово-эксплуатационные расчеты дорожных машин должны производиться с учетом вида и технологии выполняемых работ, конструкции и состояния их рабочих органов, а применяемые расчетные характеристики тщательно обосновываться. Вот почему для различных типов дорожных машин существуют свои индивидуальные методы расчета.

Рассмотрим тягово-эксплуатационные расчеты для некоторых наиболее часто встречающихся в лесной промышленности дорожных машин. Для других машин аналогичные расчеты можно найти в специальной литературе по дорожным машинам [28, 65, 66].

**Корчеватели.** Корчеватели (Д-210В, М-6, К-1А, Д-513, ЦНИИМЭ) используются для корчевки пней, расчистки дорожной полосы от корней и крупных камней, уборки сваленных деревьев и кустарника, рыхления плотных грунтов.

При работе и перемещении корчевателя возникают следующие сопротивления:

а) при рыхлении грунта и разрушении корневой системы зубьями

$$W_1 = nbhk_p \text{ н,} \quad (6-1)$$

где  $n$  — число зубьев;

$b$  — ширина зуба, м;

$h$  — глубина рыхления зубьями, м;

$k_p$  — удельное сопротивление разрыхлению; при значительном содержании корней в грунте принимается в пределах от  $0,5 \cdot 10^5$  до  $2 \cdot 10^5$ , н/м<sup>2</sup>;

б) при перемещении кустарника, деревьев и камней по грунту

$$W_2 = G_r f_r \text{ н,} \quad (6-2)$$

где  $G_r$  — вес груза, перемещаемого отвалом, н;

$f_r$  — коэффициент сопротивления перемещению камней и корней по грунту (0,5—0,7);

в) при перемещении трактора с навесным оборудованием

$$W_3 = (G_t + G_{n.o.}) (f_0 \pm i) \text{ н,} \quad (6-3)$$

где  $G_t$  — вес трактора, н;

$G_{n.o.}$  — вес навесного оборудования, н;

$f_0$  — коэффициент сопротивления движению трактора (0,08—0,15);

$i$  — уклон местности.

Общее сопротивление перемещению корчевателя равно сумме отдельных его составляющих, т. е.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \text{ н.} \quad (6-4)$$

Потребная мощность двигателя для работы корчевателя определяется по формуле

$$N = \frac{Wv}{1000\eta} \text{ квт,} \quad (6-5)$$

где  $v$  — скорость движения, м/сек;

$\eta$  — коэффициент полезного действия силовой передачи (0,75—0,85).

Производительность корчевателя определяется по формуле

$$\Pi = \frac{2blk_b}{n_1 t_{\text{ц}}} \text{ м}^2/\text{сек}, \quad (6-6)$$

где  $b$  — ширина захвата,  $\text{м}$ ; для ЦНИИМЭ  $b = 3,4 \text{ м}$ ;

$l$  — длина обрабатываемого участка,  $\text{м}$ ;

$k_b$  — коэффициент использования рабочего времени ( $0,8—0,9$ );

$n_1$  — число проходов по одному месту ( $1—3$ );

$t_{\text{ц}}$  — продолжительность одного цикла работы,  $\text{сек}$ .

**Рыхлители.** Рыхлители (Д-162А, Д-515, Д-527) предназначены для рыхления плотных грунтов перед разработкой их скреперами или бульдозерами, а также для рыхления грунтов с камнями, кустарником и мелкими пнями.

Сила тяги трактора для буксировки рыхлителя в период его работы должна быть не менее сил сопротивления, к которым относятся:

а) сопротивление грунта рыхлению.

$$W_1 = b h k_p \lambda \text{ кн}, \quad (6-7)$$

где  $b$  — ширина рыхления,  $\text{м}$ ;

$h$  — глубина рыхления,  $\text{м}$ ;

$k_p$  — удельное сопротивление грунта рыхлению,  $\text{кн}$ ; для средних грунтов  $k_p = 60—120 \text{ кн}/\text{м}^2$ ;

$\lambda$  — коэффициент неполного разрыхления грунта между зубьями, зависящий от расстояния между ними ( $\lambda = 0,75—0,80$ );

б) сопротивление перемещению рыхлителя

$$W_2 = G_p (f_0 \pm i) \text{ кн}, \quad (6-8)$$

где  $G_p$  — нормальное давление колес рыхлителя на грунт,  $\text{кн}$ ;

$f_0$  — коэффициент сопротивления перекатыванию с учетом давления грунта на зубья ( $f_0 = 0,4—0,6$ );

$i$  — уклон местности; обычно принимают  $i = +0,05$ .

Отсюда сила тяги на крюке трактора  $F_{\text{кр}} \geq W_1 + W_2 \text{ кн}$  (6-9).

Необходимая мощность трактора при рыхлении определится по формуле

$$N = \frac{[F_{\text{кр}} + G_t (f_0 \pm i)] v}{\eta} \text{ квт}, \quad (6-10)$$

где  $G_t$  — вес трактора,  $\text{кн}$ .

Производительность рыхлителя подсчитывается по формуле (6).

**Бульдозеры.** При строительстве автомобильных лесовозных дорог бульдозеры получили широкое распространение. Они применяются для послойного срезания и перемещения грунта на расстояние до  $100 \text{ м}$ , при возведении насыпей из резервов, планировке земляного полотна, а также при корчевке пней, снятии растительного слоя, на погрузке карьерных материалов

и др. В этих условиях бульдозеры обеспечивают высокую производительность и сравнительно небольшую стоимость.

Наша промышленность в настоящее время выпускает много новых бульдозеров, среди них:

марка	трактор	тип
Д-449	«Беларусь»	Неповоротный
Д-444	ДТ-54-С2	Поворотный
Д-459	ДТ-55-СУ	Неповоротный
Д-535	Т-75	Неповоротный
Д-495	С-100 ГП	Неповоротный
Д-493	С-100 ГП	Поворотный

Тяговый расчет бульдозера предусматривает определение усилий, которые необходимо прикладывать для преодоления возникающих в процессе работы сопротивлений.

Основными сопротивлениями являются:

а) сопротивление срезанию и деформации грунта отвалом

$$W_1 = sbk_k \text{ кн}, \quad (6-11)$$

где  $s$  — глубина резания, м;

$b$  — ширина резания, м;

$k_k$  — удельное сопротивление грунта срезанию и деформации, зависящее от категории грунта и его состояния [65], кн/м<sup>2</sup>:

для грунтов I категории  $k_k = 25 - 30$  кн/м<sup>2</sup>;

для грунтов II категории  $k_k = 40 - 60$  кн/м<sup>2</sup>;

для грунтов III категории  $k_k = 60 - 120$  кн/м<sup>2</sup>;

б) сопротивление волочению призмы грунта перед отвалом

$$W_2 = G_{rp} f' \text{ кн}, \quad (6-12)$$

где  $f'$  — коэффициент трения грунта по грунту, равный 0,7 ÷ 1,2;  $G_{rp}$  — вес грунта перед отвалом, кн:

$$G_{rp} = \frac{a^2 l \Delta g}{2 \operatorname{tg} \varphi} \text{ н}, \quad (6-12a)$$

где  $a$  — высота отвала, м;

$l$  — длина отвала, м;

$\Delta$  — объемная масса грунта, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  — ускорение земного притяжения,  $g = 9,81$  м/сек<sup>2</sup>;

$\varphi$  — угол естественного откоса грунта, принимается 0,5—0,7 rad;

в) сопротивление трению грунта по отвалу

$$W_3 = G_{rp} f'' \cos^2 \gamma \text{ кн}, \quad (6-13)$$

где  $f''$  — коэффициент трения грунта о сталь,  $f'' = 0,4 \div 0,6$ ;

$\gamma$  — угол резания ножа отвала;

г) сопротивление движению трактора как повозки

$$W_4 = G_t (f_0 + i) \text{ кн.} \quad (6-14)$$

Сила тяги трактора  $F$  должна быть равна или больше суммы всех сопротивлений при работе бульдозера, т. е.

$$F \geq W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \text{ кн.} \quad (6-15)$$

Потребная мощность двигателя трактора определяется по формуле

$$N = \frac{Fv}{\eta} \text{ квт.} \quad (6-16)$$

Производительность бульдозера при резании и перемещении грунта зависит от категории грунта, расстояния перемещения, уклонов местности, характера и способа производства работ.

Определяется производительность бульдозера по формуле

$$\Pi = \frac{q k_b}{t_u} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (6-17)$$

где  $k_b$  — коэффициент использования машины по времени,  $k_b \approx 0,8 - 0,85$ ;

$g$  — объем грунта перед отвалом в плотном теле:

$$g = \frac{a^2 l k_p}{2 k_p \operatorname{tg} \varphi} \text{ м}^3, \quad (6-18)$$

где  $k_p$  — коэффициент потери грунта;

$k_p$  — коэффициент разрыхления грунта,  $k_p = 1,25 - 1,30$ ;

$t_u$  — длительность цикла, сек:

$$t_u = \frac{L_h}{v_h} + \frac{L_r}{v_r} + \frac{\hat{L}_h + L_r}{v_x} + 2t_n + t_c + 2t_0, \quad (6-19)$$

где  $L_h$  — путь набора грунта (изменяется от 7 до 12 м);

$v_h$  — скорость движения трактора при наборе грунта (0,4 — 0,5 м/сек);

$L_r$  — длина груженого хода вместе с длиной разгрузки, м;

$v_r$  — скорость движения трактора при перемещении грунта (0,9 — 1,0 м/сек);

$v_x$  — скорость холостого хода (1,1 — 1,2 м/сек);

$t_n$  — время, необходимое на разворот трактора ( $t_n = 10$  сек);

$t_c$  — время на переключение передач ( $t_c \approx 5$  сек);

$t_0$  — время на опускание отвала ( $t_0 \approx 2 - 3$  сек).

Расчетная производительность бульдозеров [34] при возведении насыпи из резервов приведена в табл. 6—1.

Заметное влияние на производительность оказывают уклоны местности. При перемещении грунта под уклон производительность значительно повышается, а на подъем — падает.

**Скреперы.** Скреперы применяются для разработки выемок и отсыпки насыпей с дальностью возки грунта до 3 км.

Таблица 6—1

Марки бульдозеров	Категории грунта	Производительность ( $m^3/\text{сек}$ ) при высоте насыпи, $m$			
		0,5	0,75	1,0	1,5
Д-271	I	0,030	0,028	0,024	0,022
	II	0,027	0,025	0,021	0,019
	III	0,024	0,022	0,019	0,016
Д-275	I	0,042	0,041	0,036	0,035
	II	0,039	0,038	0,032	0,030
	III	0,034	0,032	0,027	0,026

Они бывают как прицепные, так и самоходные. К новейшим скреперам относятся: Д-457 с емкостью ковша  $1,5 m^3$ ; Д-541 —  $3,0 m^3$ ; Д-498 —  $6,0 m^3$ ; Д-523 —  $10 m^3$ ; Д-511 —  $15 m^3$ .

Наиболее производительно скреперы работают на сухих и нормально увлажненных грунтах.

На сырых и липких грунтах, а также на грунтах со значительными включениями камней и корней применение скреперов малоэффективно.

Общее сопротивление скрепера в процессе работы изменяется в значительных пределах [28]. Наибольшего значения оно достигает в момент окончания наполнения ковша грунтом.

Основными видами сопротивления являются:

а) сопротивление перемещению скрепера с ковшом, наполненным грунтом:

$$W_1 = (G_{\text{ск}} + G_{\text{гр}})(f_0 \pm i) \text{ н}, \quad (6-20)$$

где  $G_{\text{ск}}$  — вес скрепера,  $\text{н}$ ;

$G_{\text{гр}}$  — вес грунта в ковше,  $G_{\text{гр}} = q_k \Delta g k_3 \text{ н}$ ;

$q_k$  — геометрическая емкость ковша,  $m^3$ ;

$k_3$  — коэффициент заполнения ковша грунтом ( $k_3 = 0,8 - 1,1$ );

б) сопротивление грунта резанию

$$W_2 = b s k_k \text{ н}, \quad (6-21)$$

где  $b$  — ширина резания,  $m$ ;

$s$  — глубина резания ( $0,1 - 0,3 m$ );

$k_k$  — коэффициент сопротивления грунта резанию,  $\text{н}/m^2$ ;

в) сопротивление подъему грунта и перемещению его внутри ковша

$$W_3 = \Delta g b \times H^2 + \Delta g s b H \text{ н}, \quad (6-22)$$

где  $\kappa$  — коэффициент, учитывающий трение грунта внутри ковша; для глины  $\kappa = 0,24 - 0,31$ ; для суглинка  $\kappa = 0,37 - 0,44$ ; для песка  $\kappa = 0,46 - 0,50$ ;

$H$  — высота подъема грунта в ковше,  $m$ ; при емкости ковша  $1,5 \text{ м}^3 H = 0,9 - 1,1 \text{ м}$ ; при  $6 \text{ м}^3 H = 1,3 - 2,5 \text{ м}$ ; при  $10 \text{ м}^3 H = 1,8 - 2,0 \text{ м}$ ; при  $15 \text{ м}^3 H = 2,0 - 3,0 \text{ м}$ ;  
г) сопротивление перемещению призмы грунта впереди ковша

$$W_4 = \Delta g b H^2 Y f' \kappa, \quad (6-23)$$

где  $Y$  — примерное соотношение высоты призмы волочения к высоте загрузки в ковше ( $Y \approx 0,3 - 0,6$ ).

Общее сопротивление скрепера при загрузке  $W$  будет равно сумме сопротивлений, вычисленных по формулам (20) — (23). Расчетная сила трактора должна равняться или быть больше силы общего сопротивления ( $F \geq W$ ). Потребная мощность трактора устанавливается по формуле (16).

Производительность скреперов аналогично производительности бульдозеров прямо пропорциональна количеству перевозимого за один раз грунта и обратно пропорциональна времени, затраченному на один цикл работы. Определяется она по формуле

$$P = \frac{q_k k_3 k_b}{t_u k_p} m^3/\text{сек}, \quad (6-24)$$

где  $q_k$  — геометрическая емкость ковша,  $m^3$ ;

$k_3$  — коэффициент заполнения ковша,  $k_3 \approx 0,8 - 1,1$ ;

$k_b$  — коэффициент использования машины по времени,

$k_b = 0,8 - 0,85$ ;

$k_p$  — коэффициент разрыхления грунта,  $k_p \approx 1,1 - 1,3$ ;

$t_u$  — продолжительность цикла,  $\text{сек}$ :

$$t_u = \frac{L_h}{v_h} + \frac{L_r}{v_r} + \frac{L_p}{v_p} + \frac{L_x}{v_x} + n t_c + 2 t_0.$$

Здесь

$L_h$  — путь набора грунта,  $m$ ;

$L_r$  — путь скрепера с грузом,  $m$ ;

$L_p$  — путь разгрузки грунта,  $m$ ;

$L_x$  — длина холостого хода,  $m$ ;

$v_h, v_r, v_p, v_x$  — скорость движения скрепера при соответствующих режимах работы,  $m/\text{сек}$ ;

$t_c$  — время, необходимое для переключения передач трактора ( $t_c \approx 4 - 6 \text{ сек}$ );

$n$  — число переключений за время цикла;

$t_0$  — время на разворот скрепера,  $t_0 \approx 30 - 60 \text{ сек}$ .

**Грейдеры прицепные и автогрейдеры.** Прицепные грейдеры и автогрейдеры используются для профилирования грунтовых дорог с устройством боковых канав треугольного или трапециевидного сечения глубиной до  $0,6 - 0,7 \text{ м}$ , возведения насыпей из боковых резервов высотой до  $1,2 \text{ м}$ , устройства дорожного

полотна на косогорах, планировки земляного полотна и откосов, создания корыта под покрытие, перемешивания грунтов и других работ, связанных с копанием и перемещением грунта.

При выполнении этих работ грейдеру необходимо преодолевать следующие сопротивления:

а) сопротивление грунта режанию

$$W_1 = F_c k_k h, \quad (6-25)$$

где  $F_c$  — площадь поперечного сечения стружки,  $m^2$ ;

$$F_c = \frac{bs}{2} \sin \alpha \text{ m}^2.$$

Здесь  $b$  — длина режущей части ножа,  $m$ ;

$s$  — максимальная глубина резания,  $m$ ;

$\alpha$  — угол захвата ножа (рис. 6—1).

Значение углов установки ножа грейдера в зависимости от выполняемых операций приведено в табл. 6—2.

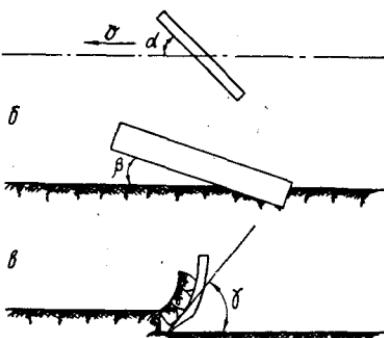


Рис. 6—1. Схема и углы установки ножа грейдера:  
 а — в плане; б — в поперечном профиле;  
 в — в продольном профиле; углы:  $\alpha$  — захвата;  $\beta$  — наклона (зарезания);  $\gamma$  — резания

Таблица 6—2

Операции	Углы установки ножа, рад		
	захвата	резания	наклона
<b>Зарезание грунта:</b>			
разрыхленного плугом . . . . .	0,53—0,61	0,61—0,78	0,19
разрыхленного рыхлителем . . . . .	0,61—0,70	0,70—0,78	0,23
неразрыхленного I и II группы . . . . .	0,70—0,78	0,70	0,26
<b>Перемещение грунта:</b> . . . . .			
тяжелого . . . . .	0,70—0,78	0,61—0,70	0,26
легкого . . . . .	0,61—0,70	0,70—0,78	0,31
<b>Отделка земляного полотна:</b> . . . . .			
планировка . . . . .	0,78—0,96	0,70—0,78	0,31
разравнивание . . . . .	0,96—1,05	0,78	0,05
Разравнивание с уплотнением . . . . .	1,22—1,57	1,05	0,37
Срезание откосов . . . . .	1,05—1,13	0,70	0,87

б) сопротивление перемещению грунта перед отвалом

$$W_2 = G_{rp} f' \sin \alpha \text{ кн}, \quad (6-26)$$

где  $f'$  — коэффициент трения грунта по грунту;  
 $G_{rp}$  — вес призмы грунта перед ножом, кн;

$$G_{rp} = \frac{B^2 l \Delta g}{2 \operatorname{tg} \varphi} \text{ кн};$$

$B$  — ширина отвала с ножом и основание призмы волочения, равное ширине отвала, м;

$l$  — длина отвала, м;

$\Delta$  — объемная масса грунта, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  — ускорение земного притяжения, м/сек<sup>2</sup>;

$\varphi$  — угол естественного откоса грунта;

в) сопротивление перемещению грунта вдоль отвала

$$W_3 = G_{rp} f'' \cos \alpha \text{ кн}, \quad (6-27)$$

где  $f''$  — коэффициент трения грунта о нож ( $f'' = 0,4 - 0,6$ );

г) сопротивление подъему грунта вверх по отвалу

$$W_4 = G_{rp} f'' \cos^2 \gamma \cos \alpha \text{ кн}, \quad (6-28)$$

где  $\gamma$  — угол резания ножа грейдера;

д) сопротивление перемещению грейдера

$$W_5 = K_1 G (f_0 \pm i) \text{ кн}, \quad (6-29)$$

где  $G$  — вес грейдера (автогрейдера), кн;

$K_1$  — коэффициент, учитывающий распределение веса между ножом и колесами (при резании);

$f_0$  — коэффициент сопротивления движению машины ( $f_0 = 0,10 - 0,15$ );

$i$  — уклон пути.

Суммарное сопротивление грейдера равно

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 \text{ кн}, \quad (6-30)$$

а потребная сила тяги должна удовлетворять неравенству  $F_{kp} \geqslant W$ .

Необходимая мощность трактора для обеспечения работы прицепного грейдера выразится формулой

$$N = \frac{[W + G_t (f_0 \pm i)] v}{\eta} \text{ квт}, \quad (6-31)$$

где  $G_t$  — вес трактора, кн;

$v$  — скорость движения трактора, м/сек;

$\eta$  — к. п. д. силовой передачи ( $\eta \approx 0,8 - 0,85$ ).

Потребная мощность двигателя для автогрейдера

$$N = \frac{W v}{\eta} \text{ квт}, \quad (6-32)$$

где  $v$  — скорость движения автогрейдера, м/сек;

$\eta$  — к. п. д. силовой передачи автогрейдера.

Производительность грейдеров (автогрейдеров) зависит от их конструктивных параметров, характера выполняемых работ, грунтовых условий и других факторов.

При профилировке дорожного полотна производительность грейдера определяется по формуле

$$P = \frac{LFk_b}{2L \left( \frac{n_3}{v_3} + \frac{n_{\pi}}{v_{\pi}} + \frac{n_0}{v_0} \right) + 2t_{\pi}(n_3 + n_{\pi} + n_0)} \text{м/сек}, \quad (6-33)$$

где  $L$  — длина обрабатываемого участка (захватки), м;

$F$  — площадь сечения насыпи,  $\text{м}^2$ ;

$k_b$  — коэффициент использования рабочего времени ( $k_b \approx 0,8—0,9$ );

$n_3, n_{\pi}, n_0$  — число проходов грейдера при зарезании, перемещении грунта и отделочных работах;

$v_3, v_{\pi}, v_0$  — скорость движения при зарезании, перемещении грунта и отделочных работах, м/сек ( $v_3 = 0,7 \text{ м/сек}$ ,  $v_{\pi} = 0,75 \text{ м/сек}$ ,  $v_0 = 0,8 \text{ м/сек}$ );

$t_{\pi}$  — время, необходимое на один поворот, сек.

Число проходов по зарезанию

$$n_3 = \frac{FK_{\pi.3}}{2S_3},$$

где  $K_{\pi.3}$  — коэффициент перекрытия проходов при зарезании,  $K_{\pi.3} = 1,7$ ;

$S_3$  — сечение стружки в плотном теле,  $S_3 = 0,11—0,20 \text{ м}^2$ .

Число проходов по перемещению

$$n_{\pi} = n_3 \frac{l_0}{l_{\pi}} K_{\pi.\pi},$$

где  $l_0$  — среднее расстояние перемещения, м;

$K_{\pi.\pi}$  — коэффициент перекрытия при перемещении ( $K_{\pi.\pi} = 1,15$ );

$l_{\pi}$  — перемещение грунта за один проход в м, зависит от угла захвата.

При высоте насыпи более 0,75 м количество проходов по перемещению грунта увеличивается на 20% вследствие необходимости поднятия грунта на полотно.

Расчетные данные, необходимые для определения производительности автогрейдеров, приведены в табл. 6—3.

Длина обрабатываемого участка, как видно из формулы (33), влияет на производительность работы грейдеров. Опыт показывает, что наибольшего производственного эффекта можно достичь при длине  $L = 200—500 \text{ м}$ .

Более длинные участки приводят к нежелательному пересыпанию грунта.

**Грейдер-элеваторы.** Грейдер-элеваторы (Д-192А, Д-437, Д-505, Д-505А) применяются для послойного вырезания и пе-

Таблица 6—3:

Показатели	Автогрейдеры	
	Д-144	Д-265
Поперечное сечение вырезаемой стружки ( $m^2$ ) в грунтах:		
I группы . . . . .	0,12	0,09
II группы, неразрыхленных . . . . .	0,09	0,07
II группы, разрыхленных . . . . .	0,11	0,08
III группы, разрыхленных . . . . .	0,07	0,05
Скорость движения, м/сек		
при зарезании грунта . . . . .	0,61	0,42
при перемещении и разравнивании грунта . . . . .	1,25	1,11
Время на один разворот автогрейдера, сек . . . . .	100	100
Время на одну перемену установки рабочего органа, сек . . . . .	30—40	30—40

ремещения грунта в сторону с подъемом и разгрузкой в отвал или как транспортные средства при возведении насыпей из резервов, разработка выемок, устройстве полунасыпей на косогорах, некоторых карьерных работах.

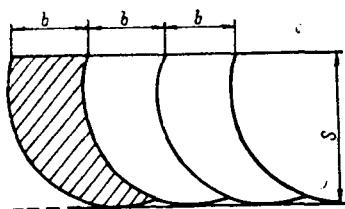


Рис. 6—2. Стружка грунта, вырезаемая дисками грейдер-элеватора

В процессе работы они испытывают следующие сопротивления:

а) сопротивление перемещению машины

$$W_1 = (G_{\text{гр.эл}} + G_{\text{гр}})(f_0 \pm i) \text{ кн}, \quad (6-34)$$

где  $G_{\text{гр.эл}}$  — вес грейдер-элеватора, кн;

$G_{\text{гр}}$  — вес грунта на ленте транспортера, кн;

б) сопротивление грунта резанию

$$W_2 = F_c k_k \text{ кн}, \quad (6-35)$$

где  $F_c$  — площадь сечения стружки (рис. 6—2, заштрихована), вырезаемая одним диском и равная

$$F_c = \frac{bs}{2} + \frac{b}{4} \sqrt{4s^2 - b^2} \text{ м}^2;$$

$b$  — боковая подача дискового плуга, м;

$s$  — глубина резания: в тяжелых грунтах — 0,5 м, в средних — 0,45 м, в рыхлых — 0,35 м;

в) сопротивление перемещению грунта перед диском ввиду небольшой его величины можно не учитывать.

Общее сопротивление для грейдер-элеватора равно

$$W = W_1 + W_2 \text{ кн.} \quad (6-36)$$

Необходимая мощность трактора при работе с грейдер-элеватором определяется по формуле

$$N = \frac{[W + G_T(f_0 \pm i)] v}{\eta} \text{ квт.} \quad (6-37)$$

Производительность грейдер-элеватора определяется из выражения

$$\Pi = \frac{V k_b}{t_{\text{ц}}} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (6-38)$$

где  $V$  — объем грунта, разрабатываемого за одну захватку:

$$V = L s b_{\text{ш}} \gamma_1 \gamma_2 \text{ м}^3;$$

$L$  — длина захватки, м;

$s$  — глубина резания, м;

$b_{\text{ш}}$  — ширина борозды поверху, м. На тяжелых грунтах  $b_{\text{ш}} = 0,22 - 0,29$  м, на средних — 0,27—0,39, на рыхлых — 0,29—0,32 м;

$\gamma_1$  — коэффициент потери грунта;

$\gamma_2$  — поправочный коэффициент на форму борозды (0,81—0,87).

Время рабочего цикла зависит от характера работы и определяется по формулам:

а) при работе в отвал по обе стороны  $t_{\text{ц}} = \frac{L}{v_p} + t_{\text{n}},$

где  $v_p$  — рабочая скорость движения, м/сек;

$t_{\text{n}}$  — время поворота (60—70 сек);

б) при работе в отвал на одну сторону  $t_{\text{ц}} = \frac{L}{v_p} + \frac{L}{v_x} + 2t_{\text{n}},$

где  $v_x$  — скорость холостого хода, м/сек;

в) при работе с погрузкой грунта на транспортные средства

$$t_{\text{ц}} = \frac{L}{v_p} + (n_a - 1)t_a + t_{\text{n}},$$

где  $n_a$  — число автомобилей, загружаемых на разрабатываемом участке;

$t_a$  — время, затрачиваемое на смену автомобилей (10—15 сек).

Некоторые расчетные данные, необходимые для расчета производительности, приведены в табл. 6—4.

**Экскаваторы.** Экскаваторы (Э-302, Э-304, Э-651 и др.) применяются для разработки и погрузки грунта в карьерах, а также для отсыпки земляного полотна из резервов, разра-

Таблица 6—4

Группа грунтов	Скорость движения, м/сек	Площадь поперечного сечения стружки, м		Коэффициент потери грунта $\eta_1$
		Д-192	ГЭМ	
I	0,89	0,12	0,10	0,76
II	0,83	0,10	0,085	0,82
III	0,61	0,09	0,07	0,85
Влажный песок	0,61	0,10	0,08	0,70

ботки выемок, прокладки осушительных и водоотводных канав и других земляных работ.

Производительность экскаваторов зависит от емкости ковша и затрат времени на выполнение цикла работ. Определяется производительность по формуле

$$P = \frac{q_k k_3 k_b}{t_{\text{ц}} k_p} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (6-39)$$

где  $q_k$  — емкость ковша,  $\text{м}^3$ ;

$k_3$  — коэффициент заполнения ковша, равный при нормальных условиях забоя 1, при благоприятных — 1,05 — 1,10, при неблагоприятных — 0,9;

$k_b$  — коэффициент использования машины по времени (0,8 — 0,85);

$k_p$  — коэффициент разрыхления: для легких грунтов — 1,15; для средних — 1,25; для тяжелых — 1,33; для скальных — 1,72;

$t_{\text{ц}}$  — продолжительность цикла, сек:

$$t_{\text{ц}} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7}{\xi} \text{ сек},$$

где  $t_1$  — время наполнения грунта в забое, сек;

$t_2$  — время подъема ковша на высоту выгрузки, сек;

$t_3$  — время поворота платформы экскаватора вместе со стрелой и ковшом к месту отвала, сек;

$t_4$  — время опорожнения ковша, сек;

$t_5$  — время обратного поворота платформы к забою, сек;

$t_6$  — время на опускание ковша в исходное положение, сек;

$t_7$  — время пауз в течение цикла, сек;

$\xi$  — коэффициент, учитывающий совмещение различных операций во времени ( $\xi = 1,15 — 1,30$ ).

При выгрузке не в отвал, а в транспортные средства в невязких грунтах рассчитанная по формуле (39) производительность уменьшается на 5—10%, в вязких грунтах — на 10—20%.

При работе на скальных грунтах производительность уменьшается на 15—20%.

**Катки.** Различные по конструкции и весу катки имеют свои условия применения. Так, кулачковые прицепные катки (Д-1305, Д-220) применяются преимущественно для первоначального послойного уплотнения насыпей, катки на пневматических шинах — для окончательной укатки насыпей, а также для укатки дорожных оснований и покрытий, построенных методом смешения на дороге. Самоходные катки с металлическими вальцами применяются для уплотнения гравийных, щебеночных и других покрытий.

Виброкатки, виброплиты и уплотняющие машины применяются главным образом для уплотнения несвязанных грунтов, но могут применяться и для уплотнения покрытий.

Тягово-эксплуатационные расчеты катков производятся по двум схемам в зависимости от того, будет ли каток самоходный или прицепной.

Для самоходных катков сопротивление движению в общем виде определяется по формуле

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \text{ кн.} \quad (6-40)$$

Входящие в эту формулу величины имеют следующее значение:

а) сопротивление от преодоления сил инерции при трогании с места

$$W_1 = \frac{G_k}{g} \cdot \frac{v}{t} \text{ кн,} \quad (6-41)$$

где  $G_k$  — вес катка, кн;

$v$  — скорость движения, м/сек;

$g$  — ускорение силы тяжести, равное 9,81 м/сек;

$t$  — время разгона катка, принимаемое в пределах 4—5 сек;

б) сопротивление от перемещения катка с учетом уклона местности

$$W_2 = G_k (f_0 \pm i) \text{ кн,} \quad (6-42)$$

где  $f_0$  — коэффициент сопротивления движению катка;

$i$  — уклон местности.

Среднее значение коэффициента сопротивления движению при укатке различных покрытий и материалов характеризуется данными:

щебень рыхлый . . . .	0,180	щебеночное шоссе . . . .	0,090
щебень уплотненный . .	0,070	асфальтобетонная смесь	
гравийное покрытие в хо-		рыхлая . . . . .	0,130
рошем состоянии . . . .	0,100	то же в конце укатки	0,045

в) сопротивление при проходе катка по закруглениям

$$W_3 = G_k f_k \text{ кн,} \quad (6-43)$$

где  $G_1$  — вес катка, приходящийся на ведомый валец, кн;  
 $f_k$  — коэффициент сопротивления движению на закруглении. При движении по рыхлому щебню  $f_k = 0,3$ , по уплотненному  $f_k = 0,2$ .

Вычисленное по формуле (40) сопротивление перемещению катка должно удовлетворять неравенству

$$W \leq G_{\text{сц}} f_{\text{сц}} \text{кн}, \quad (6-44)$$

где  $G_{\text{сц}}$  — вес, приходящийся на ведущий валец катка, кн;

$f_{\text{сц}}$  — коэффициент сцепления (0,5—0,6).

Потребная мощность двигателя катка определяется из выражения

$$N = \frac{F_k v}{\eta} \text{ квт}, \quad (6-45)$$

где  $F_k$  — касательная сила тяги на ведущих вальцах катка, кн, причем  $F_k \geq W$ ;

$v$  — рабочая скорость движения катка, м/сек;

$\eta$  — к. п. д. силовой передачи катка (0,75—0,85).

Сопротивление движению приспособленных катков представляет собою сумму сопротивлений. В нее входят сопротивление от инерции при трогании с места (41), сопротивление качению вальцов по грунту (42) и сопротивление трению в подшипниках вальцов.

При вычислении этих сопротивлений можно воспользоваться приведенными выше формулами.

Коэффициенты сопротивления перекатыванию вальцов по опытным данным [65] имеют значение:

Виды катков	в начале укатки	в конце укатки
катки гладкие . . . . .	0,16	0,10
на пневматических шинах . . .	0,18	0,12
легкие кулачковые . . . . .	0,25	0,15
тяжелые кулачковые . . . . .	0,35	0,20

Коэффициент трения в подшипниках обычно принимается равным 0,02.

Производительность катков определяется по формуле

$$\Pi = \frac{v_p k_b (b - a)}{n} \text{ м}^2/\text{сек}, \quad (6-46)$$

где  $v_p$  — средняя рабочая скорость катка, м/сек;

$k_b$  — коэффициент использования катка по времени, равный 0,85—0,90;

$b$  — ширина полосы, укатываемой за один проход, м;

$a$  — ширина перекрываемой полосы ( $a = 0,20—0,25$ );

$n$  — число проходов катка по одному месту, в результате чего будет достигнута заданная плотность.

## 6—2. ВЫБОР ДОРОЖНЫХ МАШИН И СПОСОБОВ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Целесообразность применения той или иной машины зависит от многих факторов, в том числе от характера, объема и темпов производства работ, климатических, почвенно-грунтовых и гидрологических условий, конструкции дороги, применяемых строительных материалов и т. д.

Рассмотрим условия применения основных дорожно-строительных машин, их важнейшие технологические схемы и некоторые показатели работы.

Наиболее универсальной машиной при строительстве лесовозных дорог является бульдозер. Бульдозером производят отсыпку насыпей высотой до 2 м из боковых резервов, разрабатывают косогорные полувыемки в полунасыпь, а также выемки с перемещением грунта в кавальеры или смежные насыпи. Бульдозером планируют и частично уплотняют земляное полотно, успешно осуществляют валку деревьев и корчевку пней, срезают кустарник, снимают растительный слой.

Как землеройно-транспортная машина бульдозер хорошо приспособлен к работе в лесных условиях.

Смонтированный на тракторе С-80, он обеспечивает эффективную работу при перемещении грунта на расстояние до 100—120 м. При большей мощности тракторов бульдозер эффективно можно использовать и при больших расстояниях транспортировки, а именно: бульдозеры на тракторе Т-140 при расстоянии транспортировки до 200 м, бульдозеры на тракторе ДЗТ-250 — до 300 м.

Технологическая схема работы бульдозера [81] выбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить наибольшую его производительность. Зарезание грунта (рис. 6—3) может быть в виде прямой стружки, клина и гребенки. По схеме *прямой стружки* обычно ведутся работы при снятии растительного слоя. При возведении земляного полотна, разработке выемки и других земляных работах основной схемой зарезания считается *гребенчатая*.

Кроме бульдозеров, для возведения насыпей и разработки выемок лесовозных дорог используются скреперы. Однако применять скреперы рекомендуется лишь в том случае, когда земляные работы сосредоточены в одном месте и когда в грунте содержится незначительное количество корней.

На болотах, влажных глинистых и сыпучих песчаных грунтах применение скреперов затруднено в силу плохой загрузки и разгрузки ковша, а также в силу повышенного сопротивления их перемещению.

Производительность скреперов зависит от емкости ковша, категории грунта и дальности его транспортировки. Среднее зна-

чение сменной производительности скреперов [34] приведено в табл. 6—5.

Широкое применение на строительстве автомобильных лесовозных дорог в настоящее время находят грейдеры и автогрей-

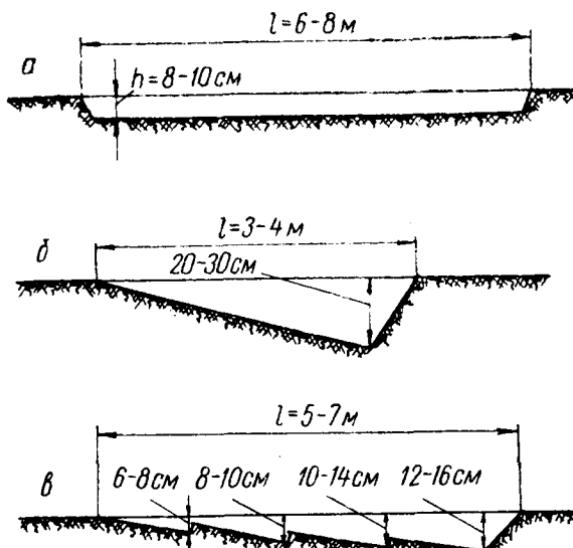


Рис. 6—3. Схемы зарезания грунта бульдозером:  
а — прямой стружкой; б — клиновой; в — гребенчатой

Таблица 6—5

Емкость ковша, м <sup>3</sup>	Средняя сменная производительность скреперов (м <sup>3</sup> ) при дальности перемещения, м							
	200		400		600		800	
	при категории грунтов							
	I	II—III	I	II—III	I	II—III	I	II—III
2,25	89	78	45	38	—	—	—	—
6	282	192	125	105	85	72	—	—
10	317	270	186	152	131	106	102	79
15	422	382	250	222	177	157	138	122

деры. Эти машины успешно используются как при возведении земляного полотна, так и при устройстве дорожного покрытия. Наибольшая эффективность работ достигается при возведении невысоких насыпей из резерва грейдером Д-20Б в сцепке с трак-

тором С-80 или С-100. Автогрейдеры Д-144, Д-395 и другие более успешно могут быть использованы на планировке откосов и земляного полотна, а также при постройке гравийных, грунтобитумных, грунтоцементных и других переходных и усовершенствованных покрытий.

Средняя сменная производительность тяжелых автогрейдеров при возведении насыпи из боковых резервов приведена в табл. 6—6.

Таблица 6—6

Расстояние перемещения грунта, м	Сменная производительность автогрейдера ( $m^3$ ) при категории грунтов		
	I	II	III
До 10	265	230	200
20	140	120	105
30	95	80	70

При использовании грейдеров (автогрейдеров) для возведения невысоких насыпей, профилировки всегда приходится решать вопрос о схеме выполнения работ, т. е. последовательности проходов грейдера с чередованием операций по зарезанию, перемещению и разравниванию грунта.

Количество проходов грейдера, необходимое для создания земляного полотна заданного профиля, непостоянно и зависит от типа грейдера, ширины и высоты земляного полотна. Оптимальная схема выполнения профилировочных работ устанавливается на основании тягово-эксплуатационных расчетов. На рис. 6—4 для примера показана 12-проходная схема профилировки.

Режим работы трактора и углы установки грейдера (табл. 2) при выполнении различных операций меняются. Зарезание, как более тяжелая работа, выполняется на первой скорости, перемещение и разравнивание — на второй. Отделка кюветов производится при помощи откосника.

Хороший результат дает применение на строительстве автомобильных лесовозных дорог экскаваторов со сменным рабочим оборудованием: прямой и обратной лопатами, драглайном и копром.

Опыт применения и технико-экономические расчеты показывают, что экскаваторы с емкостью ковша  $0,30\ m^3$  целесообразно применять при объеме земляных работ  $V \geq 5000\ m^3$ , экскаваторы с емкостью ковша до  $0,65\ m^3$  при  $V \geq 20\ 000\ m^3$  и экскаваторы с емкостью ковша до  $1,25\ m^3$  — при  $V \geq 30\ 000\ m^3$ .

Выбирая экскаватор для производства дорожно-строительных работ, необходимо стремиться к максимальному его использованию как по времени, так и по грузоподъемности.

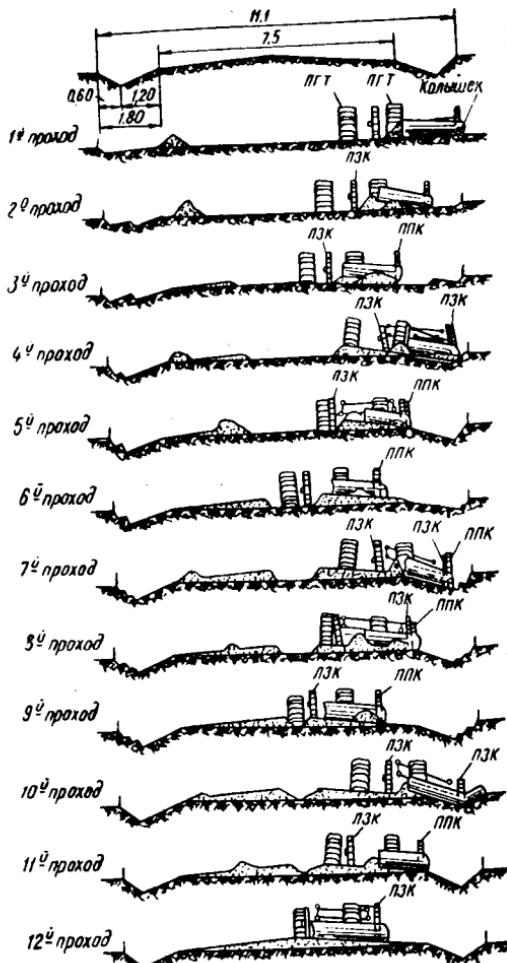


Рис. 6—4. Схема профилировки земляного полотна прицепным грейдером

Экскаваторы с прямой лопатой более выгодно применять для разработки выемки с отгрузкой грунта на автосамосвалы. Драглайны обеспечивают большую эффективность при разработке выемки в кавальер и при отсыпке высокой насыпи из резерва, а также при глубокой планировке откосов выемок и устройстве водотводных канал.

Перемещение карьерных материалов на дорогу производится при помощи автомобилей-самосвалов ГАЗ-93, ЗИЛ-1585, КАЗ-600, МАЗ-205 и др. Количество их уменьшается с наличием и производительностью погрузочных средств. При этом должно соблюдаться равенство

$$n_a = \frac{n_p \Pi_p}{\Pi_a}, \quad (6-47)$$

где  $n_a$  — количество автомобилей - самосвалов;

$n_p$  — количество машин, работающих на погрузке;

$\Pi_p$  — производительность погрузочных машин (экскаваторов (39), грейдер-элеваторов, бульдозеров, транспортеров),  $m^3/смену$ ;

$\Pi_a$  — производительность автомобилей по вывозке карьерных материалов, определяемая по формуле

$$\Pi_a = \frac{(T - \Delta t) Q}{\frac{2l}{v_{ср.тех}} + t_p} m^3/смену.$$

Здесь  $T$  — продолжительность смены, сек;

$\Delta t$  — подготовительно-заключительное время, сек;

$l$  — расстояние вывозки, м;

$v_{ср. тех}$  — средняя техническая скорость движения автомобилей, м/сек;

$t_p$  — время простоев под погрузкой, сек;

$t_r$  — время простоев при разгрузке, сек;

$Q$  — объем материалов, перевозимых за один рейс, м<sup>3</sup>.

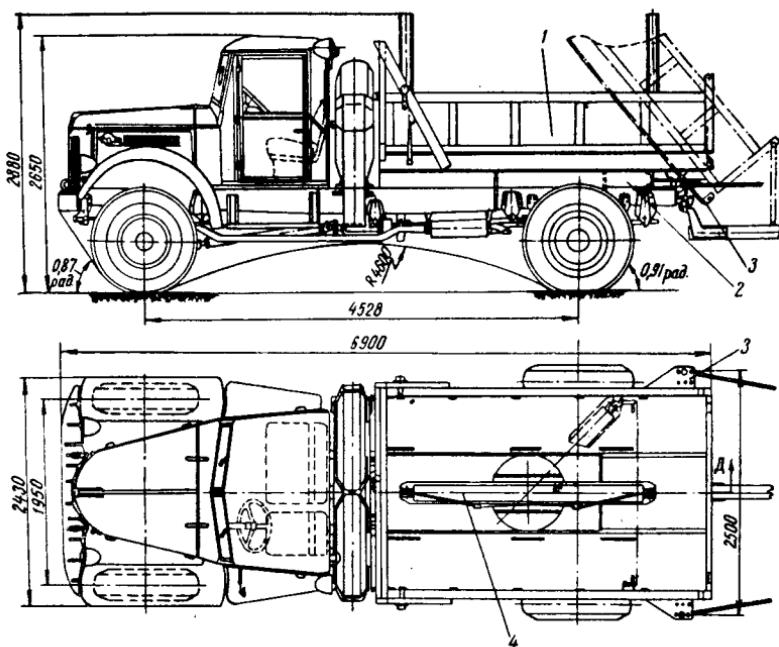


Рис. 6—5. Лесовозный автомобиль МАЗ-501 с коником и складывающимся кузовом-самосвалом конструкции В. Д. Мартынихина:

1 — СКС; 2 — надрамник; 3 — кронштейны; 4 — коник

Для перевозки дорожно-строительных материалов могут быть использованы также линейные лесовозные автомобили, если наряду с коником они будут оборудованы складывающимся кузовом-самосвалом (СКС) конструкции В. Д. Мартынихина (рис. 6—5). Отличительной особенностью этого кузова являются складывающиеся внутрь боковые и задний борта. В сложенном положении борта находятся под коником и не препятствуют работе автомобиля на вывозке леса.

Для поднятия бортов коник устанавливается вдоль автомобиля и в таком положении внутри кузова остается при перевозке карьерных материалов.

Экономическая эффективность применения такого агрегатного автомобиля в лесной промышленности является бесспорной и не требует доказательства.

При выборе катков для уплотнения грунтов и покрытий необходимо следить, чтобы давление от катка, передающееся на нижележащие слои, не превышало допускаемого, укатка проходила в пределах упругих деформаций и не приводила к раздавливанию частиц уплотняемых материалов.

Коэффициент уплотняющей способности катка определяется по формуле

$$\varepsilon = \frac{P}{lV D}, \quad (6-48)$$

где  $P$  — вес катка, кН;

$l$  — длина барабана, м;

$D$  — диаметр барабана, м.

Глубина осадки грунта при уплотнении металлическими вальцами выражается зависимостью

$$\Delta h = \sqrt[1+\mu/0.5]{\frac{\varepsilon k}{c \left(1 - \frac{\mu}{3}\right)}}, \quad (6-49)$$

где  $\Delta h$  — осадка грунта за один проход;

$\mu$  — постоянная грунта, характеризующая его оптимальную влажность и равная 0,6—0,8 и 0,4—0,6 соответственно для сухих грунтов и грунтов с оптимальной влажностью;

$c$  — коэффициент осадки грунта, зависящий от плотности и влажности грунта,  $c = 20—200 \text{ Мн}/\text{м}^3$ ;

$k$  — коэффициент, учитывающий размерность входящих в формулу величин; при  $\mu = 0,5$   $k = 10$ .

Зная  $\Delta h$ , число проходов катка, необходимое для уплотнения материала, можно определить подбором, воспользовавшись выражением

$$\frac{\gamma''_{ob}}{\gamma'_{ob}} = \frac{H \gamma'_{ob}}{H - h} \text{ кг}/\text{м}^3, \quad (6-50)$$

где  $\gamma'_{ob}$ ,  $\gamma''_{ob}$  — объемная масса неуплотненного и уплотненного грунта,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$H$  — толщина уплотняемого слоя, м;

$h$  — общая величина осадки, м.

### 6-3. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ НОВОЙ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ НА СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

В практике инженерно-экономических расчетов логическую целесообразность принято выражать в виде экономической эффективности. Большую экономическую эффективность будут

обеспечивать те машины и механизмы, а также те способы производства работ, которые позволяют достичь большей производительности труда, минимальной себестоимости строительства, лучших и более безопасных условий для рабочих.

Одним из показателей экономической эффективности капитальных вложений является срок их окупаемости ( $T$ ), который определяется, как частное от деления объема капиталовложений ( $K$ ) на сумму ожидаемой годовой прибыли ( $\Pi_p$ ):

$$T = \frac{K}{\Pi_p}. \quad (6-51)$$

Экономическая эффективность при реконструкции дороги определяется, как отношение дополнительных капиталовложений к экономии, полученной в результате снижения себестоимости вывозки:

$$T = \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1}, \quad (6-52)$$

где  $K_1 - K_2$  — объем дополнительных капиталовложений, обеспечивающих снижение себестоимости;

$C_2 - C_1$  — экономия от снижения себестоимости продукции.

При сравнении нескольких вариантов механизации работ рекомендуется пользоваться [49] формулой приведенных затрат

$$\Pi = C + \frac{K}{T_h}, \quad (6-53)$$

где  $C$  — себестоимость подлежащих выполнению работ, руб.;

$K$  — балансовая стоимость основных и оборотных средств, (фондоемкость), руб.;

$T_h$  — нормативный срок окупаемости: при расчете эффективности внедрения механизации  $T_h = 6$  лет, для машин с широкой областью применения  $T_h = 3$  года.

Наиболее экономичным является тот вариант, для которого приведенные затраты (53) имеют минимальное значение.

Годовой экономический эффект от внедрения новой дорожно-строительной машины вычисляется, как разность приведенных затрат для сравниваемых машин. При этом используется формула

$$\mathcal{E} = Y \left( C_0 - C_1 + \frac{K_0 - K_1}{T_h} \right), \quad (6-54)$$

где  $Y$  — установленный годовой объем работы для новой машины в единицах измерения, принятых при определении  $C_1$  и  $K_1$ ;

$C_0, C_1$  — себестоимости единицы работ, выполненных прежней и новой машинами;

$K_0, K_1$  — удельная фондоемкость прежней и новой машин;

$T_h$  — нормативный срок окупаемости.

Себестоимости единицы строительных работ  $C_0$  и  $C_1$  определяются по формулам

$$C_0 = \frac{D_0}{\Pi_0}, \quad C_1 = \frac{D_1}{\Pi_1}, \quad (6-55)$$

где  $D_0$ ,  $D_1$  — стоимость машино-смен заменяемой и новой машин;  $\Pi_0$ ,  $\Pi_1$  — средняя сменная производительность соответствующих машин.

Входящая в формулу (55) стоимость машино-смены определяется, как сумма всех производственных расходов, т. е.

$$D = A + З + Ц + Р + Н,$$

где  $A$  — амортизационные расходы;

$З$  — заработка плата основных и вспомогательных рабочих, обслуживающих машину;

$Ц$  — стоимость эксплуатационных материалов и энергии (ГСМ, электроэнергия и т. п.);

$Р$  — стоимость обслуживания и ремонта машин;

$Н$  — накладные расходы, принимаемые 10—35% от основной зарплаты.

Для определения удельных фондаемостей применяются выражения:

$$K_0 = \frac{A_0}{n_0 \Pi_0}; \quad K_1 = \frac{A_1}{n_1 \Pi_1}, \quad (6-56)$$

где  $A_0$ ,  $A_1$  — расчетные стоимости заменяемой и новой машин;  $n_0$ ,  $n_1$  — число смен работы в году сравниваемых машин.

Общий экономический эффект, полученный в результате внедрения новых машин, определяется в зависимости от годового объема работ, выполняемых новой машиной, и их количества на строительстве.

При выборе наиболее рационального комплекта машин и механизмов для оснащения дорожно-строительного отряда можно пользоваться формулой (53). Себестоимость единицы механизированных работ в этом случае определяется по формуле

$$C = \frac{\Delta_1}{Q_1} + \frac{\Delta_2 + M}{\Pi_{\text{от}}} + C_3, \quad (6-57)$$

где  $\Delta_1$  — неучтенные в стоимости машино-смены единовременные затраты, связанные с организацией механизированных работ в отряде;

$Q_1$  — общий объем механизированных работ;

$\Delta_2$  — неучтенные в стоимости машино-смены текущие затраты и повременная заработка плата в расчете на одну машино-смену;

$\Pi_{\text{от}}$  — сменная производительность всего машинного отряда;

$C_3$  — неучтенная в стоимости машино-смены сдельная заработка плата рабочих в расчете на единицу выполненных механизированных работ.

Определение экономического эффекта от внедрения комплекта новых машин производится аналогично тому, как оно производилось для одной машины.

В формулу (54) в этом случае подставляются данные, относящиеся не к одной машине, а к целому отряду.

#### 6—4. ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ДОРОГ

Стоимость, трудозатраты и темп строительства лесовозных дорог в большой степени зависят от уровня механизации, объема работ и условий строительства, а также от организации и технологии производства работ.

Работы, которые необходимо выполнять при строительстве автомобильных лесовозных дорог, подразделяются на две группы: *подготовительные и основные*.

К подготовительным работам относятся:

- а) восстановление и закрепление трассы;
- б) закрепление границ полосы отвода;
- в) расчистка дорожной полосы от леса, кустарника и пней;
- г) разбивка земляного полотна;
- д) предварительное осушение трассы;
- е) создание строительных баз по приготовлению элементов искусственных сооружений и материалов для покрытий;
- ж) устройство временных подъездных дорог, объездов и некоторые другие.

К основным работам при сооружении автомобильных лесовозных дорог обычно относят:

- а) возведение земляного полотна;
- б) постройку мостов, труб и других сооружений водоотводной системы;
- в) устройство дорожных покрытий.

Технология производства дорожных работ выбирается с учетом типа и мощности строительных машин, условий строительства и имеющегося передового опыта.

Основными документами при этом являются технологические правила и рабочие технологические карты.

Технологические правила содержат основные принципы организации и методы производства отдельных видов дорожных работ, а также технико-экономические показатели.

В дополнение к правилам технологические карты включают подробную технологию рабочих процессов и приемов работы каждой отдельной машины, организацию труда на каждом рабочем месте.

В состав технологических карт обычно входят следующие разделы:

- 1) описание области применения карты;
- 2) схемы организации и порядок производства работ;

- 3) технико-экономические показатели;
- 4) график выполнения процесса работ;
- 5) потребность в материально-технических ресурсах;
- 6) производственная калькуляция трудовых затрат.

В силу большого разнообразия видов и способов производства работ в настоящем пособии мы не имеем возможности рассматривать подробно технологию строительства автомобильных лесовозных дорог и даже отдельные технологические карты.

Для изучения этих вопросов необходимо использовать специальную литературу [34, 42, 49].

При разработке технологии постройки дороги и отдельных видов дорожных работ можно воспользоваться также типовыми технологическими картами [81] и приведенным ниже примером их составления.

Наряду с технологией организация строительного производства имеет весьма важное значение при строительстве автомобильных лесовозных дорог. Правильная организация работ обеспечивает высокую производительность труда, позволяет сокращать сроки и стоимость строительства дороги.

Основным методом организации строительства лесовозных дорог считается *поточный метод*.

При поточном методе строительства все работы выполняются в установленной последовательности и в строгом порядке, причем различные виды линейных и сосредоточенных работ выполняются специализированными подразделениями (бригадами, звеньями, машинами), следующими друг за другом с заданной скоростью.

Совокупность работ всех подразделений представляет комплексный поток.

*Скоростью* или *темпом комплексного потока* называется длина участка готовой дороги, построенной за одну смену.

Для определения длины специализированного потока используется формула

$$l_n = nl_3, \quad (6-58)$$

где  $n$  — число звеньев в подразделении;

$l_3$  — длина участка дороги (захвата), на котором размещаются все средства производства звена и звено выполняет за одну смену полный объем работ данного вида.

Период развертывания специализированного потока определяется по формуле

$$t_p = (n - 1) K, \quad (6-59)$$

где  $K$  — продолжительность выполнения работ на захватке (обычно  $K = 1$ ).

Продолжительность работы каждого звена на строительстве

дороги длиной  $L$  зависит от числа захваток  $m$  и определяется из выражения

$$t_1 = mK, \quad (6-60)$$

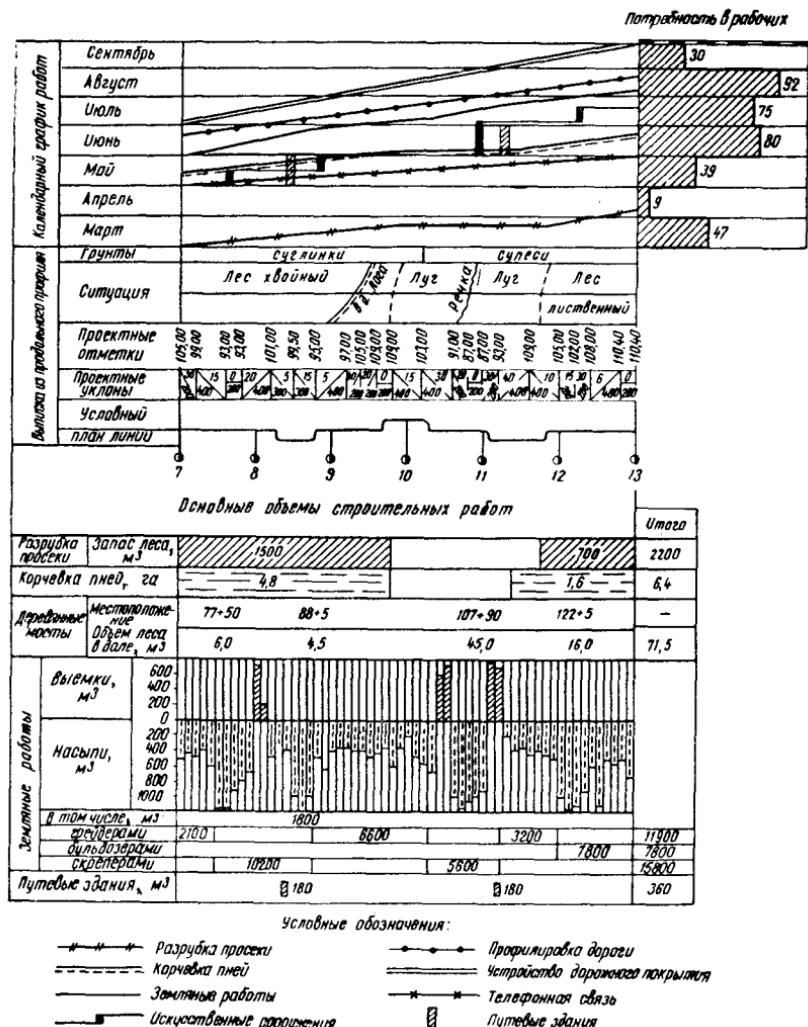


Рис. 6-6. График организации строительства дороги при поточном методе (форма-образец)

а продолжительность работы специализированного потока равна

$$T = (m + n - 1) K. \quad (6-61)$$

Скорости продвижения специализированных потоков по дороге могут быть как одинаковыми, так и разными.

При одинаковой скорости строительство идет единым потоком с постоянным интервалом между отдельными производственными подразделениями, звеньями. При разных скоростях специализированных потоков, которые чаще всего имеют место на строительстве лесовозных дорог, между выполнением различных видов работ образуются интервалы. Такая разновидность поточной организации работ носит название *организации по методу раздельных потоков*.

Как показывает практика, эта организация работ себя оправдывает. Создаются условия для полного использования машин и механизмов, занятых на различных строительных работах, имеющих, как правило, различную производительность. Кроме того, разрыв во времени между отдельными видами работ (например, возведением земляного полотна и устройством дорожного покрытия) приводит к улучшению качества строительства и уменьшению объема некоторых видов работ (например, укатки).

Для увязки и координации дорожно-строительных работ составляется график организации строительства дороги (рис. 6—6). В его состав входят схема продольного профиля, график объема работ и календарный график.

На горизонтальной оси календарного графика наносят километры (пикеты) строящейся дороги, по вертикальной оси — время выполнения работы.

При помощи символов и условных знаков на графике изображается место расположения сосредоточенных и линейных работ, а также сроки и последовательность их выполнения.

Календарный график является основным документом проекта организации строительства дороги.

## 6—5. ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Методы расчета стоимости строительства автомобильных лесовозных дорог тесно связаны с характером и стадийностью их проектирования.

Следует различать *индивидуальное и типовое проектирование*. При индивидуальном проектировании все элементы сооружения или конструкции разрабатываются для данных конкретных условий и поэтому они полностью увязываются с рельефом местности, грунтами, климатом и другими особенностями. Индивидуальное проектирование является трудоемким и дорогостоящим. Однако оно неизбежно при проектировании дорожно-транспортной сети на территории лесного массива, земляного полотна, водоотвода и некоторых других элементов дороги.

Типовое проектирование предусматривает разработку конструктивных решений для наиболее характерных условий. Применение типовых проектов конструкций и сооружений значи-

тельно снижает стоимость проектных работ, так как при этом трудовые и денежные затраты необходимы лишь для привязки готового проекта к данным условиям местности.

При строительстве лесовозных дорог часто применяют типовые проекты искусственных сооружений, дорожных покрытий, организации строительства и др.

Строительство по типовым проектам полностью себя оправдывает и рекомендуется как основное для всех предприятий и организаций.

Проектирование автомобильных дорог может быть *двухстадийное* и *трехстадийное*. При двухстадийном проектировании различаются проектное задание и рабочие чертежи, а при трехстадийном — проектное задание, технический проект и рабочие чертежи.

Проектное задание устанавливает техническую возможность и экономическую целесообразность строительства дороги, определяет направление дороги и возможность использования местных строительных материалов, показывает общую стоимость и основные технико-экономические показатели строительства.

В техническом проекте на основании принятого проектного задания приводятся технические решения по отдельным элементам и по дороге в целом, уточняются объемы и способы производства дорожно-строительных работ и технико-экономические показатели строительства.

Рабочие чертежи являются детализацией материалов проектного задания при двухстадийном проектировании и технического проекта при трехстадийном проектировании.

Таблица 6—7

Сводный сметно-финансовый расчет на сооружение автомобильной лесовозной дороги.

Сметная стоимость \_\_\_\_\_ тыс. руб. в ценах 19\_\_\_\_ г.

№ п.п.	Смета или СФР	Наименование производственных объектов работ и затрат	Сметная стоимость в тыс. руб.				Технико-экономические показатели		
			строительных работ	оборудования	монтажных работ	прочих затрат	общая сметная стоимость	наименование единиц	количество единиц
Составил									

(подпись)

должность

Проектирование автомобильных лесовозных дорог ведется, как правило, по двум стадиям — проектное задание и рабочие чертежи.

При двухстадийном проектировании основным документом, определяющим стоимость строительства дороги, является сводный сметно-финансовый расчет (СФР), который составляется по форме, представленной в табл. 6—7.

Сводный СФР составляется на основании сметно-финансовых расчетов на строительные работы и затраты, смет на отдельные объекты и сооружения, а также на приборы, оборудование и его монтаж. Эти частные сметы входят в сводный сметно-финансовый расчет в виде одной определенной статьи.

Пообъектные (частные) сметы составляются по форме (табл. 6—8).

Таблица 6—8

Смета \_\_\_\_\_  
на \_\_\_\_\_ автомобильной лесовозной дороги.  
наименование работ или затрат

Сметная стоимость \_\_\_\_\_ тыс. руб. в ценах 19\_\_\_\_г.

№ п.п.	Ссылка на номера единичных расценок	Наименование работ	Единица измерения	Количество единиц измерения	Стоимость единицы, руб.-коп.	Общая стоимость, руб.-коп.
1	2	3	4	5	6	7

Итого \_\_\_\_\_

Накладные расходы \_\_\_\_\_

Всего \_\_\_\_\_

Составил (подпись)

Как видно из табл. 8, смета на отдельные объекты и виды работ составляется в соответствии с ведомостью объемов работ, прилагаемой к проекту, действующими единичными расценками и нормами накладных расходов.

Единичные расценки являются первичным сметным материалом, в котором отражены стоимость затрат труда, материалов, работы машин и транспорта.

Вычисления единичных расценок производятся по форме (табл. 6—9).

Ввиду большого разнообразия технологических схем производства различных видов дорожно-строительных работ при составлении смет приходится иметь дело с большим количеством единичных расценок. Составление же единичных расценок является довольно трудоемким.

Таблица 6—9

Единичная расценка № \_\_\_\_\_  
на \_\_\_\_\_  
наименование вида работ или единицы

конструктивного элемента						
№ п.п.	Ссылка на номер норм	Наименование элементов затрат	Единица измерения	Количество единиц	Цена за единицу, руб.	Сумма
1	2	3	4	5	6	7

Составил (подпись)

Для облегчения работы по вычислению, согласованию и оформлению единичных расценок в настоящее время составлены единые районные единичные расценки (ЕРЕР) [49].

ЕРЕР применяются для составления смет без корректировки, если местные условия полностью соответствуют условиям, принятым в нормативах, и с корректировкой, если местные условия отличаются от условий, принятых в этих нормативах.

Накладные расходы учитывают затраты, связанные с управлением, обслуживанием, организацией и производством строительно-монтажных работ. Норма накладных расходов на строительно-монтажные работы устанавливается законодательством и для различных районов строительства изменяется в пределах 12—18,3 % от прямых затрат.

## 6—6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Пример 42.** Определить коэффициент использования по мощности бульдозера Д-271 при снятии растительного слоя на горизонтальном участке местности. Толщина растительного слоя  $h = 0,2 \text{ м}$ .

**Решение.** 1. По технической характеристике бульдозера находим размеры отвала: длина  $l = 3,03 \text{ м}$ ; высота  $a = 1,10 \text{ м}$ , вес трактора С-80 с бульдозером  $G_t = 130 \text{ кн}$ .

2. Определим сопротивление резанию по формуле (11), принимая толщину срезаемого слоя  $s = 5 \text{ см}$  [81] и удельное сопротивление резанию для растительного слоя без корней  $k_k = 30 \text{ кн}/\text{м}^2$ :

$$W_1 = 0,05 \cdot 3,03 \cdot 30 = 4,54 \text{ кн.}$$

3. Максимальный вес призмы грунта перед отвалом при угле естественного откоса  $\varphi = 0,7 \text{ рад}$ , объемный вес грунта  $\Delta = 1200 \text{ кг}/\text{м}^3$ , вычисленный по формуле (12 а), будет равен

$$G_{\text{гр}} = \frac{1,1^2 \cdot 3,03 \cdot 1200 \cdot 9,81}{2 \cdot 0,8423} = 25\,620 \text{ н} = 25,62 \text{ кн.}$$

4. Сопротивление волочению призмы грунта перед отвалом вычисляется по формуле (12)

$$W_2 = 25,62 \cdot 0,7 = 18 \text{ кн.}$$

5. Для определения сопротивления подъема грунта вверх по отвалу используется формула (13). Входящие в формулу коэффициент трения грунта о сталь и угол резания принимаем  $f'' = 0,4$ ,  $\varphi = 1,0 \text{ рад}$  [65]:

$$W_3 = 25,62 \cdot 0,4 \cdot (0,5403)^2 = 3 \text{ кн.}$$

6. Собственное сопротивление перемещению трактора с бульдозером

$$W_4 = 130 (0,1 \pm 0) = 13 \text{ кн.}$$

7. Общее сопротивление перемещению бульдозера Д-271 равно сумме отдельных его составляющих, т. е.

$$W_{\text{общ}} = 4,54 + 18 + 3 + 13 = 38,54 \text{ кн.}$$

8. Скорость движения трактора С-80 равна на первой передаче 0,62 м/сек, на второй 1,00, на третьей 1,43, на четвертой 2,29, на пятой 2,68 м/сек.

Примем коэффициент полезного действия трансмиссии  $\eta = 0,85$  и по формуле (16) вычислим потребную мощность двигателя:

$$N_I = \frac{38,54 \cdot 0,62}{0,85} = 28,05 \text{ квт};$$

$$N_{II} = \frac{38,54 \cdot 1,00}{0,85} = 45,03 \text{ квт};$$

$$N_{III} = \frac{38,54 \cdot 1,43}{0,85} = 64,80 \text{ квт};$$

$$N_{IV} = \frac{38,54 \cdot 2,29}{0,85} = 104,00 \text{ квт},$$

но так как мощность двигателя трактора С-80

$$N = 93 \text{ л. с.} = 93 \cdot 0,736 = 68,45 \text{ квт},$$

то очевидно, что коэффициент использования трактора по мощности будет равен: при работе на первой передаче  $K = 0,41$ , на второй  $K = 0,66$  и на третьей передаче  $K = 0,95$ .

На более высоких передачах в заданных условиях трактор работать не может.

**Пример 43.** Определить сменную производительность скрепера Д-222 при перемещении грунта из выемки в насыпь. Разработка и транспортирование грунта осуществляется по схеме, представленной на рис. 6—7. Среднее расстояние перемещения грунта  $L_n = 500 \text{ м}$ , продолжительность смены  $T = 7 \text{ час}$ , емкость ковша  $q_k = 6 \text{ м}^3$ , ширина захвата  $b = 2,592 \text{ м}$ , толщина стружки  $h_{\text{рез}} = 0,25 \text{ м}$ .

Скорости движения: при наполнении ковша  $v_h = 0,5 \text{ м/сек}$ , с грузом  $v_r = 1,8 \text{ м/сек}$ ; разгрузка  $v_p = 1 \text{ м/сек}$ ; без груза  $v_x = 2,4 \text{ м/сек}$ .

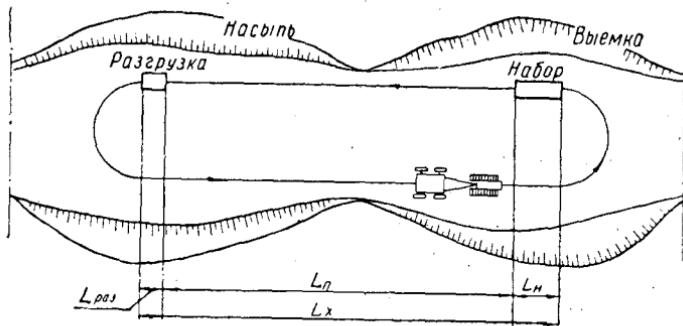


Рис. 6—7. Схема разработки грунта в выемке и перемещения ее в насыпь скрепером Д-222

Коэффициенты: использования машины по времени  $k_v = 0,85$ ; заполнения ковша  $k_3 = 0,9$ ; разрыхления  $k_p = 1,2$ .

Решение. 1. Определяем время набора грунта

$$t_n = \frac{q_k k_3}{k_p b h_{pez} v_h} = \frac{6 \cdot 0,9}{1,2 \cdot 0,25 \cdot 2,592 \cdot 0,5} = 14 \text{ сек.}$$

2. Длина пути набора

$$L_n = v_h t_n = 0,5 \cdot 14 = 7 \text{ м.}$$

3. Длина пути разгрузки при толщине слоя  $h_p = 0,3 \text{ м}$  будет определяться по формуле

$$L_p = \frac{q_k k_3}{k_p b h_p} = \frac{6 \cdot 0,9}{1,2 \cdot 2,592 \cdot 0,3} = 5,3 \text{ м.}$$

4. Зная скорость разгрузки  $v_p = 1 \text{ м/сек}$  и путь  $L_p = 5,3 \text{ м}$ , находим время разгрузки ковша

$$t_p = \frac{5,3}{1} = 5,3 \text{ сек.}$$

5. Путь холостого пробега скрепера, как видно из рис. 7, будет равен

$$L_x = L_n + L_p + L_{pez} = 500 + 7 + 5,3 = 512,3 \text{ м.}$$

6. Время холостого хода

$$t_x = \frac{L_x}{v_x} = \frac{512,3}{2,4} = 214 \text{ сек.}$$

7. Время движения скрепера с грузом

$$t_r = \frac{L_n}{v_r} = \frac{500}{1,8} = 278 \text{ сек.}$$

8. Время, необходимое для переключения передач (число переключений примем  $n = 6$ , а продолжительность переключений  $t_c = 6$  сек)

$$nt_c = 6 \cdot 6 = 36 \text{ сек.}$$

9. Время, необходимое на разворот скрепера

$$2t_n = 2 \cdot 60 = 120 \text{ сек.}$$

10. Производительность скрепера на основании исходных и полученных данных определим по формуле (24):

$$\Pi = \frac{6 \cdot 0,9 \cdot 0,85}{(14 + 5,3 + 214 + 278 + 36 + 120) \cdot 1,2} = 0,0057 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Сменная производительность в этом случае будет равна

$$\Pi_{\text{см}} = 0,0057 \cdot 7 \cdot 60 \cdot 60 = 144 \text{ м}^3/\text{смену.}$$

Ответ. Сменная производительность скрепера Д-222 при перемещении грунта из выемки в насыпь на расстояние 500 м равна 144 м<sup>3</sup>/смену.

**Пример 44.** Определить количество автомобилей-самосвалов ЗИЛ-585, необходимое для транспортировки из карьера грунта, разработка которого ведется одним экскаватором с прямой лопатой Э-505. Исходные данные: продолжительность одного цикла работы экскаватора  $t_n = 18$  сек; коэффициент заполнения ковша  $k_3 = 1,0$ ; коэффициент использования по времени экскаватора  $k_b^3 = 0,65$  и автосамосвала  $k_b^a = 0,9$ ; коэффициент разрыхления грунта  $k_p = 1,2$ ; средняя дальность перевозки грунта  $L_g = 2$  км; среднетехническая скорость движения  $v_{\text{ср.техн}} = 5$  м/сек; простой автосамосвала на конечных пунктах  $t_{\text{пр}} = 540$  сек; коэффициент использования грузоподъемности самосвала  $k_{\text{пр}} = 1,0$ .

**Решение.** 1. Устанавливаем дополнительные исходные данные: емкость ковша экскаватора Э-505  $q_k = 0,5$  м<sup>3</sup>; грузоподъемность автосамосвала ЗИЛ-585  $Q_a = 35$  кн, что соответствует объему разрыхленного грунта  $q_a = 2,33$  м<sup>3</sup>.

2. Производительность экскаватора определяется по формуле (39)

$$\Pi_e = \frac{q_k k_3 k_b^3}{t_n k_p} = \frac{0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,65}{18 \cdot 1,2} = 0,015 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

3. Производительность автосамосвала

$$\Pi_a = \frac{q_a v_{\text{ср.техн}} K_g p k_b^a}{2L_g + v_{\text{ср.техн}} t_{\text{пр}}} = \frac{2,33 \cdot 5 \cdot 1,0 \cdot 0,9}{2 \cdot 2000 + 5 \cdot 540} = 0,00156 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

4. Количество автосамосвалов, необходимое для обеспечения бесперебойной работы экскаватора, определяется из выражения

$$n_a = \frac{\Pi_e}{\Pi_a} = \frac{0,015}{0,00156} = 10 \text{ шт.}$$

Ответ. Для транспортировки грунта из карьера на дорогу

(2 км) на один экскаватор Э-505 необходимо 10 автосамосвалов ЗИЛ-585.

**Пример 45.** Вычислить производительность прицепного кулачкового катка Д-220Б при уплотнении земляного полотна высотой  $h = 0,8 \text{ м}$ . Средняя рабочая скорость движения катка  $v_p = 0,8 \text{ м/сек}$ , число проходов катка по одному месту  $n = 8$ .

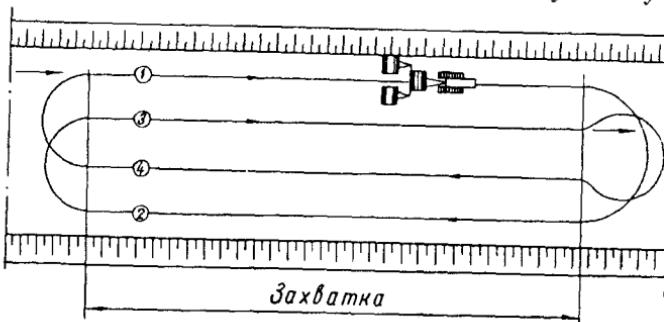


Рис. 6—8. Схема уплотнения насыпи прицепным кулачковым катком Д-220Б

**Решение.** Производительность прицепных катков определяется по формуле

$$P = \frac{v_p k_b (b - a)}{n} \text{ м}^2/\text{сек.}$$

Входящую в формулу ширину укатываемой полосы находим в технической характеристике катка  $b = 2,4 \text{ м}$ . Ширину перекрываемой полосы принимаем равной  $a = 0,25 \text{ м}$ , а коэффициент использования катка по времени  $k_b = 0,80$ .

Подставляя численное значение входящих в формулу величин, будем иметь

$$P = \frac{0,8 \cdot 0,80 (2,4 - 0,25)}{8} = 0,172 \text{ м}^2/\text{сек.}$$

Производительность катка за семичасовой рабочий день

$$P_{\text{см}} = 0,172 \cdot 7 \cdot 60 \cdot 60 = 4334 \text{ м}^2/\text{смену.}$$

Схема работы катка при уплотнении насыпи приведена на рис. 6—8.

**Пример 46.** Для возведения насыпи автомобильной лесовозной дороги необходимо произвести земляные работы в объеме  $V = 200 \text{ тыс. м}^3$ . По трассе преобладают грунты I категории. Среднее расстояние транспортировки грунта  $l = 50 \text{ м}$ .

В качестве основной машины для производства земляных работ по местным условиям могут быть использованы бульдозеры или скреперы.

Технико-экономические показатели их при этом характеризуются данными (табл. 6—10).

Таблица 6-10

Показатели	Единица измерения	Д-271	Д-222
Расчетная стоимость машины . . . . .	руб.	3960	5100
Стоимость машино-смены . . . . .	»	19,6	30,2
Сметная производительность . . . . .	м³/смену	150	350
Стоимость единицы работы . . . . .	руб./м³	0,13	0,09

Определить, какую из этих строительных машин более целесообразно использовать и какой при этом будет экономический эффект.

Решение. 1. Определяем приведенные затраты на производство земляных работ бульдозером по формуле

$$P_B = C + \frac{K}{T}.$$

Себестоимость  $C$ , подлежащая выполнению работ, в этом случае будет равна

$$C = 200\ 000 \cdot 0,13 = 26 \text{ тыс. руб.}$$

За балансовую стоимость основных и оборотных средств возьмем расчетную стоимость машины, т. е.  $K = 3960$  руб.

Примем нормативный срок окупаемости  $T = 3$  года, как для машин с широкой областью применения.

Подставляя численное значение входящих в формулу величин, получим

$$P_B = 26\ 000 + \frac{3960}{3} = 27\ 320 \text{ руб.}$$

2. Приведенные затраты для случая применения скрепера Д-222 при  $C = 200\ 000 \cdot 0,09 = 18$  тыс. руб.,  $K = 5100$  руб. и  $T = 3$  года будут

$$P_C = 18\ 000 + \frac{5100}{3} = 19\ 700 \text{ руб.}$$

Так как  $P_C < P_B$ , то очевидно, что при заданных условиях экономически более выгодно земляные работы производить скрепером.

3. Вычислим экономическую эффективность, которая будет достигнута в результате использования скреперов. Для этого используем формулу (54):

$$\mathcal{E} = 200\ 000 \left( 0,13 - 0,09 + \frac{3960 - 5100}{3 \cdot 200\ 000} \right) = 7640 \text{ руб.}$$

Ответ. Для возведения земляного полотна более целесообразно использовать скреперы Д-222. Применение скреперов позволяет ежегодно экономить 7640 руб.

**Пример 47.** На участке автомобильной лесовозной дороги общий объем земляных работ  $Q_{\text{общ}} = 50$  тыс.  $m^3$ . Средневзвешенное расстояние перемещения грунта  $l_{\text{ср}} = 25$  м. Срок выполнения работ 200 смен. Выбрать наиболее экономичный тип землеройных машин и определить потребное их количество.

**Решение.** 1. Объем земляных работ, который необходимо выполнять ежесменно, равен

$$q = \frac{50\,000}{200} = 250 \text{ } m^3/\text{смену.}$$

2. При сравнительно небольшом расстоянии перемещения грунта целесообразно использовать бульдозеры Д-216, Д-271 или Д-275.

Производительность этих бульдозеров при заданном расстоянии транспортировки и супесчаных грунтах будет равна ( $m^3$  в смену): при работе без открылок Д-216 — 75, Д-271 — 160, Д-275 — 196; Д-271 — 260, Д-275 — 298 при работе с открылоками.

3. Стоимость машино-смены, как показывают расчет и опыт эксплуатации бульдозеров [64], в среднем составляет: бульдозеров Д-216 — 14,6 руб., Д-271 — 19,6 и Д-275 — 17,9 руб.

4. Зная производительность и стоимость машино-смены, определим стоимость единицы работы: для бульдозеров Д-216 —  $C = \frac{14,6}{75} = 0,19$ ; Д-271 —  $C = \frac{19,6}{260} = 0,08$ ; Д-275 —  $C = \frac{17,9}{298} = 0,06 \text{ руб}/m^3$ .

5. Вычислим необходимое количество бульдозеров для обеспечения заданного темпа работ: бульдозеров Д-216 необходимо  $n = \frac{250}{75} = 3,34 \approx 4$ ; Д-271 —  $n = \frac{250}{260} = 0,96 \approx 1$ ; Д-275 —  $n = \frac{250}{298} = 0,84 \approx 1$ .

6. Количество рабочих смен, потребное для выполнения заданного объема работ:

$$\text{бульдозер Д-216 } n'_{\text{см}} = \frac{Q}{nP} = \frac{50\,000}{4 \cdot 75} = 167 \text{ смен;}$$

$$\gg \text{Д-271 } n''_{\text{см}} = \frac{50\,000}{1 \cdot 260} = 192 \text{ смены;}$$

$$\gg \text{Д-275 } n'''_{\text{см}} = \frac{50\,000}{1 \cdot 298} = 168 \text{ смен.}$$

7. Стоимости производства работ бульдозерами равны для бульдозера Д-216  $C_p = 0,19 \cdot 50\,000 = 9,5$  тыс. руб;

$$\gg \text{Д-271 } C_p = 0,08 \cdot 50\,000 = 4,5 \text{ тыс. руб;}$$

$$\gg \text{Д-275 } C_p = 0,06 \cdot 50\,000 = 3,0 \text{ тыс. руб.}$$

8. Коэффициент использования бульдозеров в период строительства определяется делением рассчитанных рабочих смен на возможное количество смен работы бульдозеров, при котором должен быть выполнен объем земляных работ.

В настоящем примере коэффициенты использованы:  $K_c = \frac{n'_{cm}}{n_p} = \frac{167}{200} = 0,84$ ;  $K_c = \frac{n''_{cm}}{n_p} = \frac{192}{200} = 0,96$ ;  $K_c = \frac{n'''_{cm}}{n_p} = \frac{168}{200} = 0,84$ .

9. Результаты расчетов сводим в табл. 6—11.

Т а б л и ц а 6—11

Наименование показателей	Единицы измерения	Бульдозеры		
		Д-216	Д-271	Д-275
Сменная производительность . . .	$m^3/\text{смену}$	75	260	298
Потребное количество бульдозеров . . . . .	шт	4	1	1
Стоимость единицы работ . . . . .	$\text{руб}/m^3$	0,19	0,08	0,06
Общая стоимость земляных работ . . . . .	тыс. руб.	9,5	4,0	3,0
Коэффициент использования бульдозеров . . . . .	—	0,84	0,96	0,84

Анализ данных таблицы показывает, что для возведения насыпи в заданных условиях наиболее целесообразно использовать бульдозер Д-275. Стоимость выполнения заданного объема работ в этом случае будет наименьшей.

**Пример 48.** Определить число проходов по одному месту самоходного катка Д-260, которое необходимо для того, чтобы плотность гравийного покрытия толщиной  $h = 0,25 \text{ м}$  увеличилась с 1700 до  $1950 \text{ кг}/m^3$ . Влажность гравийного материала оптимальная, коэффициент осадки перед укаткой равен  $40 \text{ Мн}/m^3$ , а затем в процессе укатки после каждого прохода увеличивается на  $20 \text{ Мн}/m^3$ .

**Решение.** 1. По технической характеристике устанавливаем необходимые параметры катка Д-260: общий вес  $P = 60 \text{ кн}$ ; вес, приходящийся на передний валец,  $P_1 = 19 \text{ кн}$ , а на задние —  $P_2 = 41 \text{ кн}$ ; ширина вальцов: переднего  $l_1 = 0,90 \text{ м}$ , задних  $l_2 = 2 \cdot 50 = 1,0 \text{ м}$ ; диаметр переднего  $D_1 = 0,90 \text{ м}$ , задних  $D_2 = 1,30 \text{ м}$ .

2. Определяем коэффициенты уплотняющей способности отдельных вальцов и катка в целом:

$$\text{переднего } \varepsilon_1 = \frac{P_1}{l_1 \sqrt{D_1}} = \frac{19}{0,9 \sqrt{0,90}} = 22,2 \text{ кн}/m^{3/2};$$

$$\text{заднего } \varepsilon_2 = \frac{P_2}{l_2 \sqrt{D_2}} = \frac{41}{1 \sqrt{1,3}} = 35,9 \text{ кн}/m^{3/2}.$$

Коэффициент уплотняющей способности катка найден как среднеарифметическое значение  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$ :

$$\varepsilon = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{2} = \frac{22,2 + 35,9}{2} = 29 \text{ кН/м}^{3/2}.$$

3. Постоянную, характеризующую влажность, примем равной 0,5 и по формуле (49) произведем вычисления осадок покрытия (табл. 6—12).

Таблица 6—12

Проходы	Значение коэффициентов осадки грунта, $\text{кН/м}^{3/2}$	$\varepsilon$ , $\text{кН/м}^{3/2}$	Осадка за один проход, $m$	Суммарная осадка, $m$
1	40 000	29	0,0087	0,0087
2	60 000	29	0,0058	0,0145
3	80 000	29	0,0044	0,0189
4	100 000	29	0,0035	0,0224
5	120 000	29	0,0029	0,0253
6	140 000	29	0,0025	0,0278
7	160 000	29	0,0022	0,0300
8	180 000	29	0,0019	0,0319
9	200 000	29	0,0017	0,0336

4. Полученную при девяти проходах суммарную осадку подставляем в формулу (50) и получаем

$$\gamma_{06} = \frac{H_{\gamma_{06}}}{H - h} = \frac{0,25 \cdot 1700}{0,25 - 0,0336} = 1960 \text{ кг/м}^3 > 1950 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ. Для уплотнения гравийного покрытия толщиной  $h = 0,25 \text{ м}$  необходимо 9 проходов по одному месту катка Д-260.

**Пример 49.** Составить технологическую карту разработки грунта бульдозерами в боковых резервах с перемещением его в насыпь. Высота насыпи  $h = 1,2 \text{ м}$ , ширина  $B = 8 \text{ м}$ , коэффициенты откоса  $m = 1,5$ . Грунт — суглинок легкий, по трудности разработки относится ко II категории. Бульдозер Д-271 с открылоками.

**Решение.** 1. Разрабатываемая технологическая карта может быть использована при возведении земляного полотна бульдозером Д-271 из боковых резервов, если грунты относятся ко II категории, а размеры насыпи близкие по значению размерам, принятым в настоящем примере.

2. Определим размеры резерва и количество проходов бульдозера.

дозера в резерве по одному месту. Площадь поперечного сечения насыпи

$$F = Bh + mh^2 = 8 \cdot 1,2 + 1,5 \cdot 1,2^2 = 11,76 \text{ м}^2.$$

При расположении резервов по обе стороны насыпи, очевидно, площадь поперечного сечения каждого резерва должна быть равна

$$F_p = \frac{F}{2} K_{yп} = \frac{11,76}{2} \cdot 1,12 = 6,6 \text{ м}^2,$$

где  $K_{yп} = 1,12$  — коэффициент уплотнения грунта насыпи по отношению к грунту резерва.

Принимая глубину резерва при работе бульдозера Д-271 равной 0,5 м, получим среднюю ширину резерва

$$B_p = \frac{F_p}{h_p} + mh_p = \frac{6,6}{0,5} + 1,5 \cdot 0,5 = 13,95 \text{ м.}$$

Объем грунта, перемещенного бульдозером Д-271 за один проход, определяется по формуле

$$q = \frac{a^2 lk_{п}}{2k_p \operatorname{tg}\varphi}.$$

Принимая высоту отвала  $a = 1,1 \text{ м}$ , а длину  $l = 3,03 \text{ м}$ , угол естественного откоса  $\varphi = 0,71 \text{ рад}$ , коэффициент потери грунта  $k_{п} = 0,99$ , коэффициент разрыхления  $k_p = 1,2$  и подставляя в формулу, получим

$$q = \frac{1,1^2 \cdot 3,03 \cdot 0,99}{2 \cdot 1,2 \cdot 0,86} = 1,76 \text{ м}^3.$$

Определим длину пути набора грунта при толщине стружки  $h_3 = 0,125 \text{ м}$ :

$$L_n = \frac{q}{h_3 l} = \frac{1,76}{0,125 \cdot 3,03} = 4,65 \text{ м.}$$

Количество проходов бульдозера по одному следу

$$n_1 = \frac{0,5}{0,125} = 4.$$

Общее количество циклов (зарезаний), необходимое для отсыпки насыпи, определится как произведение числа проходов по одному следу на число установок по ширине резерва, т. е.

$$n_{ц} = 4 \cdot 3 = 12.$$

Возведение насыпи высотой 1,2 м целесообразно производить послойно, толщину слоя примем равной 0,60 м.

Схема разработки резерва и отсыпки насыпи на основании произведенных технологических расчетов представлена на рис. 6—9.

3. В плане рис. 6—10 движение бульдозера может быть перпендикулярным к оси дороги и под острым углом к ней.

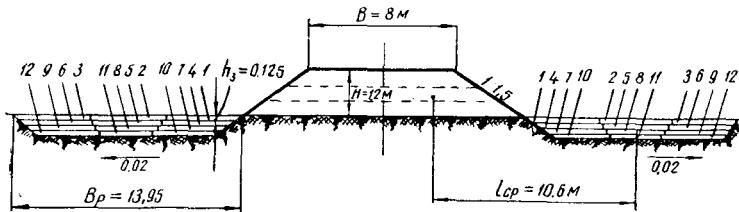


Рис. 6—9. Схема разработки резерва бульдозером Д-271 в профиле (цифрами показана последовательность зарезания ножа бульдозера)

Полосы резания с зазорами (0,5—0,8 м) и с перекрытием (0,10—0,15 м).

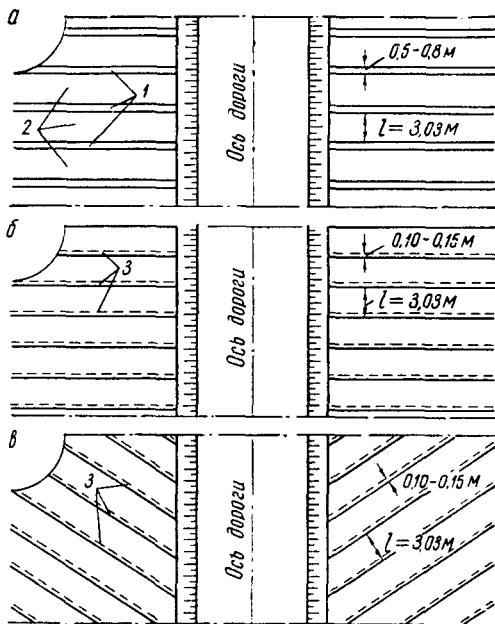


Рис. 6—10. Схема разработки резервов бульдозерами в плане:

*a* — траншнейная; *б* — последовательная прямоугольная; *в* — последовательная косоугольная; 1 — валюки грунта между траншеями; 2 — траншеи; 3 — перекрытия полос резания

По схеме, представленной на рис. 10, *a*, рекомендуется разрабатывать резервы в том случае, если бульдозер не имеет открылок. При наличии открылок надобность в зазорах отпадает и разработка может производиться по схемам рис. 10, *б*, *в*.

Примем в качестве основной схемы разработки резерва в плане схему, представленную на рис. 10, б. Зарезание грунта примем по клиновой схеме рис. 3, которая обеспечивает наиболее полное использование тягового усилия трактора.

Порядок работы по перемещению грунта из резерва в насыпь по этой схеме устанавливается на основании рис. 9.

4. Производительность бульдозера Д-271 вычислим по следующим данным: объем грунта перед отвалом  $q = 1,76 \text{ м}^3$ ; коэффициент использования машины по времени  $k_b = 0,80$ ; путь набора грунта  $L_b = 4,65 \text{ м}$ ; длина груженого хода  $L_r = 5,95 \text{ м}$ ; скорость движения при наборе и перемещении грунта (I передача)  $v_h = v_r = 0,6 \text{ м/сек}$ ; скорость порожнякового хода (задний ход)  $v_x = 0,9 \text{ м/сек}$ ; время на переключение передач  $t_c = 10 \text{ сек}$ ; время на опускание и подъем отвала  $t_0 = 6 \text{ сек}$ .

$$P = \frac{1,76 \cdot 0,80}{\frac{4,65 + 5,95}{0,6} + \frac{4,65 + 5,95}{0,9} + 10 + 6} = 0,031 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Сменная производительность

$$P_{\text{см}} = 0,031 \cdot 7 \cdot 3600 = 781 \text{ м}^3/\text{смену.}$$

5. Стоимость машино-смены для бульдозера определится по формуле

$$C = \frac{P_0 R}{100M} + C_2^\alpha + C_3,$$

где  $P_0$  — годовые затраты первой группы в процентах от расчетной стоимости машины;

$R$  — расчетная стоимость машины, руб.;

$M$  — количество рабочих смен машины в году;

$C_2^\alpha$  — нормативные затраты второй группы на одну машино-смену при полном использовании машины, руб.;

$\alpha$  — коэффициент внутрисменного использования машины ( $\alpha = 0,80—0,85$ );

$C_3$  — затраты третьей группы, слагающиеся из отнесенной к одной машино-смене заработной платы обслуживающего персонала.

Для расчета стоимости машино-смены бульдозера Д-271 используются следующие данные:

#### 1. Затраты первой группы $P_0, \%$

1. Восстановительная стоимость машины . . . . .	15,70
2. Капитальный ремонт . . . . .	22,90
3. Вспомогательные устройства, монтажные и демонтажные . . . . .	3,00
4. Содержание гаражей и сараев . . . . .	3,40

Итого затраты первой группы . . . . . 45,00

## II. Затраты второй группы $C_2$ , руб.

1. Все виды ремонтов, кроме капитального . . .	5,45
2. Сменная оснастка машины, вспомогательные материалы и инструменты . . . . .	0,20
3. На смазочные и обтирочные материалы . . .	0,62
4. На энергоресурсы . . . . .	5,25

Сумма затрат второй группы . . . . . 11,52

III. Затраты третьей группы, руб. . . . . 3,36

IV. Расчетная стоимость машины, руб. . . . . 4108

Принимая эти данные и  $M = 280$  смен, получим

$$C = \frac{45,0 \cdot 4108}{100 \cdot 280} + 11,52 \cdot 0,8 + 3,36 = 19,18 \text{ руб.}$$

6. Стоимость производства 1  $m^3$  земляных работ определится как частное от деления стоимости машино-смены на сменную производительность, т. е.

$$C' = \frac{C}{\Pi_{\text{см}}} = \frac{19,18}{781} = 0,0245 \text{ руб}/m^3.$$

7. Расход горючего и смазочных материалов для трактора С-80 с бульдозером Д-271 устанавливается в соответствии с действующими нормами (табл. 6—13).

Таблица 6—13

Виды материалов	Единица измерения	На 1 час работы	На смену
Дизельное топливо . . . . .	кг	12	84
Бензин:			
летом . . . . .	»	0,25	1,75
зимой . . . . .	»	0,50	3,50
Дизельное масло . . . . .	»	0,78	5,46
Автол . . . . .	»	0,20	1,40
Нигрол . . . . .	»	0,30	2,10
Солидол . . . . .	»	0,20	1,40

8. Произведенные выше расчеты позволяют установить технико-экономические показатели на 1000  $m^3$  насыпи (табл. 6—14).

Таблица 6—14

Наименование показателей	Единица измерения	Количество
Трудоемкость работ при возведении насыпи с перемещением грунта II категории на расстояние 10 м	чел.-час	9
Выработка на одного рабочего в смену	$m^3$	781
Затраты при работе:		
а) тракторов С-80	машино-смена	1,28
б) бульдозеров Д-271	»	1,28
Расход ГСМ:		
а) дизельного топлива	кг	108
б) бензина	»	3
в) смазочных материалов	»	11
Стоимость производства работ (1000 $m^3$ )	руб.	24,5

9. Производственная калькуляция трудовых затрат составляется по следующей форме (табл. 6—15).

Таблица 6—15

№ п.п.	Основание	Описание работ	Профессия и разряд рабочего	Единица измерения	Объем работ	Сменная производительность	Норма времени в чел.-час. на единицу измерения	Расценка, руб./ $m^3$	Количество чел.-час на весь объем работ	Стоимость всего объема работ, руб.
1	ЕН и Р на строительные и монтажные работы (в нашем примере произведенный расчет)	Возведение насыпи бульдозером из 2-сторонних боковых резервов при разработке грунта II категории	Бульдозерист 7-го разряда	$m^3$	1000	781	0,009	0,0245	9	24,5

367. Возведение насыпи из резерва производится бульдозером Д-271 с шириной захвата 2,95 м. Грунт в резерве II категории. Определить усилие резания, если известно, что глубина срезаемого слоя за один проход  $h = 0,3$  м.

368. Какое сопротивление преодолевает бульдозер Д-159Б при движении по горизонтальной площадке, коэффициент сопротивления движению на которой  $f_0 = 0,15$ ?

369. Определить максимальный объем грунта с углом естественного откоса грунта  $\varphi = 0,5$  рад, который может перемещать универсальный бульдозер на горизонтальном участке местности.

370. Вычислить коэффициент использования бульдозера Д-271 по мощности при перемещении грунта вниз по косогору крутизною  $1/8$ , если известны угол естественного откоса грунта  $\varphi = 0,6$  рад, объемная масса  $\gamma = 1900 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Коэффициент сопротивления движению трактора  $f_0 = 0,15$ , коэффициент трения грунта по грунту  $f' = 1,2$ , скорость движения бульдозера  $v = 0,8 \text{ м/сек}$ .

371. Объем грунта, перемещаемый бульдозером, перед отвалом  $1,5 \text{ м}^3$ . Продолжительность цикла работ  $t_{\text{ц}} = 100 \text{ сек}$ . Вычислить производительность бульдозера при коэффициенте использования его по времени  $k_{\text{в}} = 0,90$ .

372. Корчеватель Д-210В, установленный на тракторе С-80, используется для расчистки трассы от валунов. Определить максимальный вес камней, которые можно перемещать трактором на II передаче, если коэффициент сопротивления перемещению камней  $f_g = 0,7$ , коэффициент сопротивления движению трактора  $f_0 = 0,12$ , а средний уклон в направлении перемещения  $i = 10\%$ .

373. Определить усилие, которое необходимо прикладывать к рыхлителю Д-527, при рыхлении грунта II категории на глубину  $h = 0,5$  м. При этом известно, что на рыхлителе установлено 5 зубьев, в результате чего ширина рыхления равна 2 м, коэффициент неполного разрыхления  $\lambda = 0,8$ .

374. Рассчитать производительность бульдозера Д-271 при перемещении грунта из выемки в насыпь, используя следующие данные: путь, проходимый бульдозером за время набора грунта,  $L_n = 8$  м, расстояние транспортировки  $L = 50$  м; скорости движения: при наборе  $v_n = 0,5 \text{ м/сек}$ , при перемещении  $v_r = 1 \text{ м/сек}$ , в порожнем направлении  $v_x = 1,2 \text{ м/сек}$ ; потеря времени на развороте  $t_n = 10 \text{ сек}$ , при переключении передач  $t_c = 20 \text{ сек}$ , при опускании и подъемании отвала  $t_0 = 6 \text{ сек}$ ; угол естественного откоса грунта  $\varphi = 0,6$  рад; коэффициент разрыхления грунта  $k_o = 1,25$  и коэффициент потери грунта  $k_n = 0,8$ .

375. Используя данные предыдущей задачи, установить за-

висимость производительности бульдозера от расстояния транспортировки грунта.

В прямоугольных координатах построить график  $P = f(L_r)$ , приняв постоянными все остальные величины.

376. На основании действующих норм на строительные и монтажные работы для условий Белорусской ССР установить сменные нормы выработки бульдозеров Д-259А, Д-444 и Д-449, если грунт относится ко II категории, а расстояние перемещения его равно  $L_{cp} = 40 \text{ м}$ .

377. Определить крюковую силу трактора, необходимую для транспортировки груженого скрепера Д-374 по местности с уклоном  $i = 0,03$  и коэффициентом сопротивления движению  $f = 0,17$  при объемной массе грунта, равной  $1700 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

378. Рассчитать тяговое усилие трактора, которое необходимо в момент заполнения скрепера Д-374 грунтом. За исходные при расчете принять следующие данные: грунт II категории, объемная масса его в разрыхленном состоянии  $\Delta = 1800 \text{ кг}/\text{м}^3$ , глубина резания  $s = 0,25 \text{ м}$ . Коэффициенты: сопротивления движению  $f_1 = 0,15$ , заполнения ковша  $k_3 = 0,9$ , трения грунта о грунт  $f' = 0,8$ , а продольный уклон местности  $i = 0$ .

379. Определить производительность экскаватора Э-302 с прямой лопатой при работе в карьере, если продолжительность одного цикла работ  $t_u = 20 \text{ сек}$ , коэффициенты: заполнения ковша  $k_3 = 1,1$ , использования машины по времени  $k_v = 0,75$  и разрыхления грунта  $k_p = 1,15$ .

380. Для расчистки трассы от кустарника используется кусторез Д-174В. Рабочая скорость кустореза  $v = 0,2 \text{ м/сек}$ , коэффициент крупности кустарника  $k_a = 0,75$ , коэффициент использования машины по времени  $k_v = 0,85$ .

Определить площадь, которую можно очистить кусторезом за семичасовую рабочую смену, и начертить схему работы по расчистке дорожной полосы шириной 40 м.

381. Определить крюковую силу тяги, необходимую для буксировки в рабочем положении рыхлителя Д-162А по горизонтальному участку местности, если глубина рыхления  $h = 0,35 \text{ м}$ , удельное сопротивление рыхлению  $k_p = 60 \text{ кН}/\text{м}^2$ , коэффициент неполного разрыхления грунта между зубьями  $\lambda = 0,80$  и коэффициент сопротивления перемещению рыхлителя  $f_0 = 0,4$ .

382. Определить предельный уклон, при котором возможен выезд из карьера груженого автомобиля-самосвала МАЗ-205, если известно, что нагрузка его  $Q = 50 \text{ кН}$ , а коэффициент сцепления колес с грунтом  $\varphi = 0,45$ .

383. Вычислить производительность навесного рыхлителя Д-515, принимая полезную ширину рыхления за один проход  $b = 1,9 \text{ м}$ , рабочую скорость движения  $v = 1,1 \text{ м/сек}$ , длину обрабатываемого участка (захватки)  $L = 1000 \text{ м}$ , коэффициент

использования рабочего времени  $k_b = 0,80$ , время, необходимое на поворот агрегата,  $t_n = 12$  сек. Установить также зависимость производительности рыхления от длины обрабатываемого за один прием участка.

384. Для профилирования земляного полотна автомобильной лесовозной дороги, проектная линия которой проходит по обвертывающей, принят прицепной грейдер Д-20Б и трактор С-80.

Определить углы установки ножа грейдера при резании и перемещении грунта, исходя из условия обеспечения наиболее эффективной работы агрегата, если известно, что грунт — суглинок легкий, коэффициент сопротивления резанию  $k_k = 40 \text{ кН}/\text{м}^2$ , расчетная скорость движения трактора при резании грунта  $v_p = 0,8 \text{ м/сек}$ , при перемещении  $v_n = 1,2 \text{ м/сек}$ , а коэффициенты сопротивления движению грейдера и трактора соответственно равны  $f_1 = 0,12$  и  $f_0 = 0,10$ .

385. Определить производительность грейдера Д-20 при возведении насыпи из боковых резервов. Ширина насыпи поверху  $B = 8 \text{ м}$ , высота  $h = 0,6 \text{ м}$ , заложение откосов насыпи и резервов 1:3, грунт супесчаный. Длина захватки  $L = 500 \text{ м}$ , коэффициент уплотнения грунта насыпи по отношению к резерву  $K = 1,1$ , среднее расстояние перемещения грунта  $l_0 = 6 \text{ м}$ . Скорости движения: при резании  $v_p = 0,9 \text{ м/сек}$ ; при перемещении  $v_n = 1,0 \text{ м/сек}$ ; при отдалке  $v_0 = 1,2 \text{ м/сек}$ . Поперечное сечение стружки  $S_3 = 0,17 \text{ м}^2$ , коэффициенты перекрытия проходов: при резании  $k_{n,z} = 1,7$ ; при перемещении  $k_{n,p} = 1,15$ . Число отдельных проходов  $n_0 = 8$ , время, необходимое на один разворот,  $t_n = 50 \text{ сек}$ .

386. Для уплотнения насыпи, ширина которой  $B = 8 \text{ м}$  и высота  $h = 0,6 \text{ м}$ , использован кулачковый каток Д-130Б. Необходимая плотность грунта насыпи достигается после 8 проходов катка по одному месту со скоростью  $v = 1,0 \text{ м/сек}$ .

Какой длины участок может быть уплотнен за одну рабочую смену, если коэффициент использования времени  $k_b = 0,85$ ?

387. Определить количество проходов катка Д-220, необходимое для достижения требуемой плотности, если оптимальная плотность скелета грунта насыпи  $\delta_{op} = 1850 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а фактическая  $\delta_\phi = 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

388. На основании теоретических и экспериментальных исследований Н. И. Наумец рекомендует рациональную скорость укатки грунта производить в зависимости от параметров катка и уплотняемого грунта по формуле

$$v = \frac{b}{\pi} \sqrt{\frac{Cblg}{P}},$$

где  $P$  — вес катка,  $\text{кн}$ ;

$l$  — ширина катка,  $\text{м}$ ;

$g$  — ускорение, равное  $9,81 \text{ м/сек}^2$ ;

*b* — длина хорды соприкосновения катка с грунтом (*m*), определяемая по формуле

$$b = \sqrt{\frac{2,32PD}{El}};$$

*D* — диаметр катка, *m*;

*C* — сопротивление укатываемого грунта сжатию (коэффициент пропорциональности). В зависимости от степени влажности принимается *C* = 3000—9000 *кн/м<sup>3</sup>*;

*E* — модуль упругости грунта, равный 2000—3000 *кн/м<sup>2</sup>*.

Используя формулу Н. И. Наумца, определить рациональную скорость проходов катка, если известно, что вес катка *P* = 100 *кн*, ширина *l* = 2 *м*, диаметр *D* = 1,5 *м*, а грунт характеризуется коэффициентом пропорциональности *C* = 7 *Мн/м<sup>3</sup>* и модулем упругости *E* = 2,5 *Мн/м<sup>2</sup>*.

389. При постройке автомобильной лесовозной дороги необходимо произвести корчевку пней на площади *F* = 90 *га*. Максимальный диаметр пней *d* = 0,45 *м*, и корчевка их может быть произведена корчевателями Д-210В, ЦНИЛХИ, Д-526, ЦНИИМЭ-КБК.

Определить, какой из этих корчевателей наиболее выгодно применять в заданных условиях.

390. Работа бульдозера Д-459 в течение месяца характеризуется следующим образом:

Число ме-сяца	Количество часов			Число ме-сяца	Количество часов			Число ме-сяца	Количество часов		
	в работе	в ремон-те	простой		в работе	в ремон-те	простой		в работе	в ремон-те	простой
1	7	—	—	11	7	—	—	21	Выходной день		
2	4	3	—	12	7	—	—	22	—	—	7
3	7	—	—	13	—	2	4	23	—	—	7
4	—	—	7	14	Выходной день			24	7	—	—
5	6	1	—	15	7	—	—	25	7	—	—
6	6	—	—	16	6	—	1	26	7	—	—
7	Выходной день			17	5	2	—	27	6	—	—
8	6	—	1	18	7	—	—	28	Выходной день		
9	7	—	—	19	7	—	—	29	6	1	—
10	5	2	—	20	6	—	—	30	7	—	—

Вычислить показатели состояния и использования бульдозера: коэффициент технической готовности, коэффициент использования по времени и коэффициент внутрисменного использования.

391. Выбрать тип скреперов и определить потребное количество скреперов, если профильный объем грунта на дороге равен 120 тыс.  $m^3$ , среднее расстояние перемещения грунта из выемки в насыпь  $l_{cp} = 300\text{ м}$ , срок выполнения работ  $A = 120$  смен, а некоторые показатели работы скреперов характеризуются данными:

Показатели	Единица измерения	Марки скреперов				
		Д-354 Д-458 Д-461	Д-357Г	Д-374	Д-213А	Д-188А
Стоимость машино-смены . . .	руб.	25	22	26	30	33
Время загрузки ковша . . .	сек	20—30	40—50	30—50	40—50	65—80
Время выгрузки ковша . .	»	15—25	20—35	20—30	20—35	25—40
Время, затрачиваемое на поворотах . .	»	15—20	15—25	15—30	15—30	20—30
Время на переключение передач . . .	»	5—6	5—6	6	6	6
Скорость движения с грунтом . . .	м/сек	1,3—1,6	3,5—5,0	1,25—2,25	1,25—2,2	1,5—2,5
Скорость движения без груза . . .	»	1,6—1,8	5,0—6,0	1,5—2,5	1,75—2,75	1,5—3,0
Коэффициент наполнения грунта . . .	—	0,7—0,9	0,7—0,9	0,7—0,9	0,7—0,9	0,7—0,9

392. Определить производительность грейдер-элеватора Д-437 на возведении насыпи высотою 1 м из бокового резерва, если рабочая скорость его равна 1,0 м/сек, площадь сечения стружки 0,12  $m^2$ , а длина захватки 500 м.

393. Определить глубину забоя и производительность экскаватора Э-801 при разработке песчаного карьера, если известно, что емкость его ковша  $q_k = 0,8\text{ м}^3$ , продолжительность одного рабочего цикла  $t_c = 25\text{ сек}$ , коэффициент разрыхления грунта  $k_p = 1,2$  и коэффициент заполнения ковша  $k_3 = 1,0$ .

394. Разработка гравия в карьере производится экскаватором Э-302, а перевозка его на дорогу осуществляется автомобилями-самосвалами МАЗ-205.

Определить количество самосвалов, которое необходимо выделить для отвозки карьерных материалов на расстояние 10 км, зная, что среднетехническая скорость движения равна 7 м/сек.

395. Определить целесообразность применения в качестве ведущей машины бульдозера (Д-444) или автогрейдера (Д-395) при возведении из боковых резервов насыпи высотою  $h = 0,8$  м и шириной  $B = 8$  м, если дальность перемещения грунта II категории  $L = 14$  м, а стоимости машино-смен бульдозера и автогрейдера соответственно равны  $D_b = 17$  руб. и  $D_a = 23$  руб.

396. Определить средневзвешенное расстояние перемещения грунта бульдозером, если объем его по дальности перемещения распределяется следующим образом:

расстояние, м	10	15	20	25	30	35	40
объем грунта, $m^3$	500	2340	3755	4328	1675	1250	980

397. Определить срок строительства лесовозных дорог для района Белоруссии, где работы по возведению земляного полотна могут быть начаты 20 апреля и окончены 30 октября, а количество нерабочих дней по метеорологическим условиям равно 15.

398. Для постройки участка автомобильной лесовозной дороги установлен срок строительства 290 рабочих смен. Объем работы и принятые строительные машины и механизмы для их выполнения следующие:

Наименование работ	Объем работ	Основная машина (механизм)
Валка леса	20 га	Пила «Дружба»
Трелевка древесины	3 тыс. $m^3$	Трактор ТДТ-40
Корчевка пней	15 га	Бульдозер Д-271
Срезка и удаление кустарника	10 га	Кусторез Д-174В
Снятие растительного слоя	12 га	Бульдозер Д-271
Рыхление грунта	6 га	Рыхлитель Д-162
Земляные работы	150 тыс. $m^3$	Бульдозер-Д-271
Укатка	12 га	Каток Д-130Б
Устройство железобетонных мостов и труб	300 $m^3$ бетона	Кран К-5
Профилировка	12 га	Грейдер Д-20Б
Устройство гравийного покрытия	180 тыс. $m^3$	Э-302 МАЗ-205
Устройство связи	15 км	Трактор «Беларусь» Д-496

Принимая эти данные и учитывая, что на трассе грунты II категории и среднее расстояние перевозки карьерного грунта

$L = 8$  км, определить по укрупненным показателям производительность дорожно-строительных машин, вычислить темпы производства отдельных видов работ и необходимое количество дорожной техники.

399. Определить целесообразность применения автомобилей-самосвалов ЗИЛ-585 или МАЗ-205 для перевозки карьерных материалов на строящуюся дорогу, если известно, что стоимость машино-смены для ЗИЛ-585 составляет 9,5 руб. и для МАЗ-205 — 13,5 руб., среднее расстояние перевозки грунта по хорошей грунтовой дороге  $L = 5$  км, а погрузка материала в карьере производится экскаватором Э-505, сменная производительность которого равна  $450 \text{ м}^3$ .

400. Рассчитать технологический процесс и составить технологическую карту разработки скрепером Д-457А выемки с перемещением супесчаного грунта в насыпь, принимая высоту насыпи  $H_n = 1,5$  м, глубину выемки  $H_v = 4$  м, коэффициенты откосов 1,5, а среднее расстояние перемещения грунта из выемки в насыпь  $L = 200$  м.

401. Строительство автомобильной лесовозной дороги III категории производится в равнинной местности. На участке длиною 500 м трасса пересекает торфяное болото, глубина которого 1,5 м, а сплавинный верхний слой равен 1 м.

Руководствуясь ТУ и производя расчеты, разработать технологический процесс отсыпки насыпи и составить план организации производства земляных работ на болоте.

402. Требуется определить срок окупаемости гравийной автомобильной лесовозной дороги, если известно, что полная сметная стоимость строительства ее составила 300 тыс. руб., годовой грузооборот — 60 тыс.  $\text{м}^3$ , себестоимость 1  $\text{м}^3$  древесины — 8 руб., отпускная цена ее 12 руб., а транспортная составляющая себестоимости равна 25 %.

403. Определить, при каком грузообороте дороги затраты на усовершенствование автомобильной лесовозной дороги в сумме 50 тыс. руб. окупятся за 2 года. Известно, что усовершенствование дороги позволит снизить себестоимость вывозки 1  $\text{м}^3$  на 50 коп.

404. Определить экономическую эффективность и срок окупаемости капиталовложений при замене автокрана и автомобилей на укладку железобетонных плит плитоукладчиком ЦНИИМЭ, если стоимость укладки 1 км колейного покрытия кранами и плитоукладчиком соответственно равна  $C_k = 796,6$  руб. и  $C_p = 272,6$  руб., затраты машино-смен  $N_k = 38$  и  $N_p = 10$ , а общая стоимость путеукладчика составляет 8 тыс. руб. Ежегодный объем строительства железобетонных покрытий 100 км, число смен работы в году по укладке плит 250.

405. Проект строительства лесовозной дороги длиною 30 км и грузооборотом 150 тыс.  $\text{м}^3/\text{год}$  выполнен в двух вариантах.

По первому варианту стоимость постройки 1 км дороги равна 10 тыс. руб., а себестоимость вывозки 1 м<sup>3</sup> древесины 2,2 руб. Второй вариант предусматривает усовершенствованное покрытие, вследствие чего стоимость 1 км дороги увеличилась и достигла 20 тыс. руб., но зато себестоимость вывозки 1 м<sup>3</sup> древесины снизилась до 1,8 руб.

Выбрать вариант с более высоким коэффициентом сравнительной эффективности.

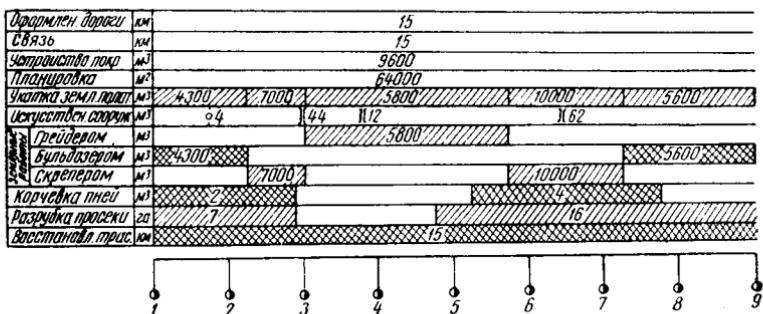


Рис. 6—11. Схематический график объемов дорожных работ

406. Определить экономическую эффективность замены экскаватора Э-505 экскаватором Э-753, если известно, что годовой объем экскаваторных работ равен 200 тыс. м<sup>3</sup>, сменная производительность экскаваторов Э-505 и Э-753 соответственно 400 и 600 м<sup>3</sup>, стоимость машино-смены 26 и 32 руб., разница в расчетной стоимости машин 1200 руб. и число рабочих дней в году 280.

407. Для производства работ по возведению насыпи из резервов принятые два бульдозера Д-275, сменная производительность которых 600 м<sup>3</sup>/смену.

Рассчитать необходимое количество дополнительных машин и механизмов, а также состав механизаторов и рабочих для поточной организации работ по возведению земляного полотна, ширина которого равна 9 м, средняя высота 1,2 м и коэффициенты откосов 1,5.

408. Составить календарный график производства дорожно-строительных работ, объемы и дислокация которых показаны на рис. 6—11, если установленный срок строительства равен 150 дням, а принятые машины и механизмы будут наиболее полно использованы как по мощности, так и по времени. Кроме того, известно, что дорога гравийная с шириной земляного полотна 8 м и проездной части 6 м. Среднее расстояние перевозки карьерных материалов 6 км, а грунта скрепером 0,25 км. При

составлении графика использовать передовой опыт организации дорожных работ.

409. Запроектировать последовательность работы грейдера Д-241 при профилировании земляного полотна шириной  $B = 8\text{ м}$  на суглинистых грунтах и составить схему его профилирования. Поперечный уклон водосливной призмы  $i_n = 40\%$ .

409а. Рассчитать состав машин и механизмов, которыми должен быть вооружен дорожно-строительный отряд, предназначенный для механизированного строительства автомобильной лесово-водной дороги III категории с грунтобитумным покрытием. Известно, что трасса проходит по супесчаным грунтам, средний объем земляных работ на 1 км составляет 10 тыс.  $\text{м}^3$ , расстояние подвозки жидкого битума Б-5 равно 10 км, а гравия — 25 км. Организация работ — поточным методом со скоростью потока 200 м в смену.

---

## ГЛАВА СЕДЬМАЯ

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГИ

В решении задач, стоящих перед автомобильным лесотранспортом, большое значение имеют вопросы эксплуатации дорог. От правильной эксплуатации дороги зависят эффективная и бесперебойная работа автомобилей на вывозке леса, срок службы дороги и автомобилей, затраты на их содержание и ремонт, а также безопасность и удобства движения. Правильно эксплуатировать дорогу — значит соблюдать установленные нормы передвижения, пропускать по ней автомобили со скоростями и нагрузками не выше тех, которые предусмотрены по проекту, организовать работу автомобильного парка так, чтобы обеспечить наибольшую производительность труда и минимальную стоимость вывозки древесины, следить за состоянием дороги и своевременно принимать меры по предупреждению и устранению ее дефектов и неисправностей.

Вопросы эксплуатации дороги могут быть успешно решены на основе опыта работы передовых предприятий и современных технологических и технико-экономических методов расчета.

#### 7—1. ТЯГОВО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ РАСЧЕТЫ АВТОМОБИЛЬНОГО ЛЕСОТРАНСПОРТА

##### 1. Силы, действующие на автомобильный поезд

В процессе движения на автомобильный поезд действуют силы тяги, силы притяжения земли (вес поезда) и силы сопротивления, естественные и искусственные (тормозные). Эти силы действуют не одновременно, а, как правило, в одной из следующих комбинаций: силы тяги и силы естественного сопротивления; только силы естественного сопротивления; тормозные силы и силы сопротивления.

Силы притяжения действуют на поезд постоянно.

Равнодействующая сила, приложенных к поезду, взятая в направлении движения, определяет характер этого движения.

Рассмотрим физическую сущность, некоторые зависимости и значение сил, действующих на автомобильный поезд.

Сила тяги автомобиля возникает в результате сгорания горючей смеси в цилиндрах двигателя и наличия реактивных сил, приложенных от дороги к колесам. Происходит это следующим образом.

При сгорании топлива в двигателе тепловая энергия превращается в механическую. Механическая энергия создает на коленчатом валу двигателя крутящий момент  $M$ . Этот момент при включении сцепления подводится к коробке передач, а затем через карданный вал и главную передачу к ведущим колесам.

На ведущих колесах крутящий момент равен

$$M_k = M i_k i_0 \eta_m, \quad (7-1)$$

где  $i_k$  — передаточное число в коробке передач;

$i_0$  — передаточное число в главной передаче;

$\eta_m$  — механический коэффициент полезного действия силовой передачи (0,80—0,85).

Крутящий момент  $M_k$  в точке соприкосновения колеса с дорогой (рис. 7—1) вызывает окружную касательную силу  $F_k$ , а также равную ей по абсолютной величине, но направленную в обратную сторону реактивную силу.

Нормальная реакция дороги  $R$  при жесткой ее поверхности направлена вертикально вверх, а точка ее приложения смещена в сторону движения на величину  $a$ , являющуюся плечом силы трения качения. Так как величина  $a$  сравнительно небольшая, то и влияние смещения точки приложения реакции на касательную силу незначительно и практически им можно пренебречь.

Значение касательной силы можно получить из выражения

$$F_k = \frac{M_k}{r_k} = \frac{M i_k i_0 \eta_m}{r_k} \text{ Н}, \quad (7-2)$$

где  $r_k$  — расчетный радиус колес, обычно  $r_k = 0,95r$ .

Если известны эффективная мощность двигателя  $N_e$  и линейная скорость движения  $v$ , то касательная сила будет равна

$$F_k = \frac{N_e}{v} \eta_m \text{ Н}. \quad (7-3)$$

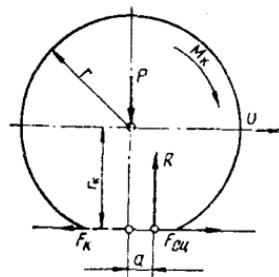


Рис. 7—1. Схема действия сил на ведущее колесо автомобиля

Перемещение ведущего колеса возможно при условии, если  
 $F_k \leq F_{\text{сц}}$ .

Максимально возможная величина силы  $F_{\text{сц}}$  называется *сцепной силой* колеса с дорогой и определяется по формуле  
 $F_{\text{сц}} = P_{\text{сц}}\varphi$ , (7—4)

где  $P_{\text{сц}}$  — сцепной вес автомобиля (вес, приходящийся на ве-  
дущие колеса автомобиля),  $\text{Н}$ ;

$\varphi$  — коэффициент сцепления, зависящий от типа и состояния  
покрытия (табл. 7—1).

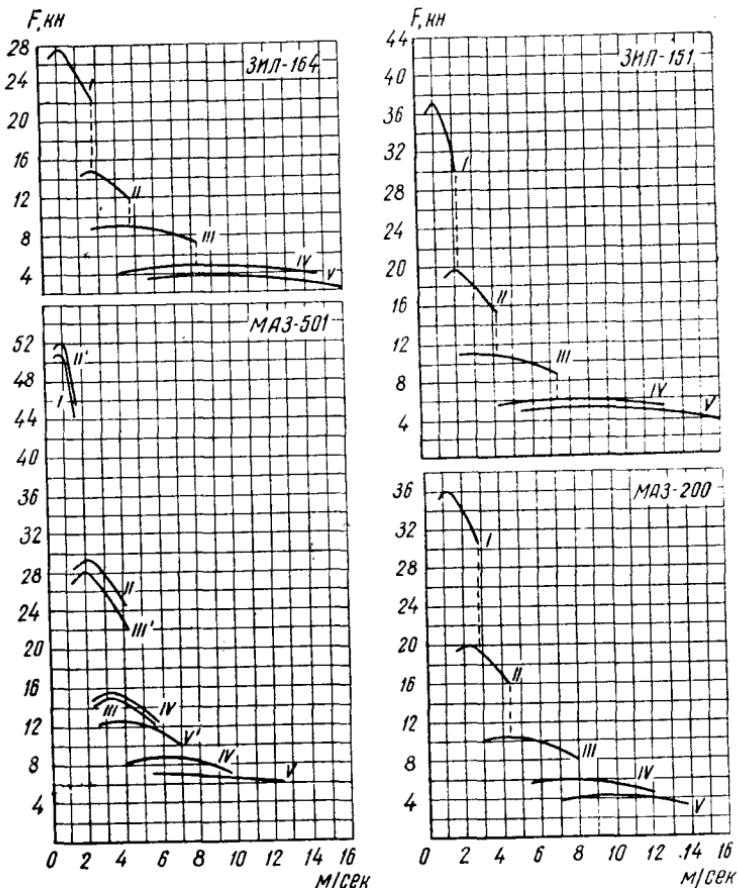


Рис. 7—2. Тяговые характеристики автомобилей

Значение касательной силы тяги в зависимости от скорости движения на различных передачах может быть представлено графически в виде тяговой характеристики (рис. 7—2), а удельной избыточной силы (динамического фактора) — в виде динамической характеристики (см. ниже).

За расчетную принимается касательная сила тяги, которую автомобиль развивает при движении (трогании с места) на I передаче и которая может быть реализована по условиям его сцепления с дорогой [56].

Сопротивление движению автомобиля возникает под влиянием целого ряда факторов, в том числе и в результате трения в подшипниках автомобиля, трения качения колес по дороге, ударов колес на выбоинах и неровностях проезжей части, разложения веса автомобиля на уклонах, действия центробежных сил на закруглениях, наличия встречного потока воздуха и т. д.

Общее сопротивление движению разделяется на основное и дополнительное.

Основное сопротивление действует на прямом горизонтальном участке пути. Величина его зависит от типа автомобильной дороги и подвижного состава. Действует оно на всем протяжении пути.

Дополнительное сопротивление зависит от конкретных условий движения и действует на поезд в отдельных случаях. К ним относятся: сопротивления от уклонов, воздушной среды, инерции и сопротивления на кривой.

Сопротивление движению всего поезда (автомобиля) носит название *полного* и выражается в ньютонах. Сопротивление же, отнесенное к единице веса (ニュ顿), является безразмерной величиной и поэтому называется *коэффициентом сопротивления движению*.

Средние значения коэффициентов основного сопротивления движению для различных типов автомобильных дорог приведены в табл. 7—1.

Для получения полной величины основного сопротивления движению автомобильного поезда необходимо его вес ( $P + Q$ ) умножить на коэффициент сопротивления движению, т. е.

$$W_0 = (P + Q) f_0 \text{ н.} \quad (7-5)$$

Коэффициент дополнительного сопротивления от уклона численно равен величине уклона, выраженного десятичной дробью.

Полное сопротивление движению от воздушной среды слагается из сил, действующих перпендикулярно поверхности автомобиля, сил трения воздушного потока о наружную поверхность и сопротивления внутреннего потока для охлаждения двигателя и вентиляции кабины.

На основании законов аэродинамики оно определяется по формуле

$$W_v = C_p S v_0^2 \text{ н,} \quad (7-6)$$

где  $C$  — коэффициент, зависящий от формы автомобиля и степени гладкости стенок кузова, для лесовозных автомобилей равный 0,35—0,88 [90];

Таблица 7—1

Типы автомобильных дорог	Коэффициент основного сопротивления движению $f_0$	Коэффициент сцепления $\varphi$
Цементно-бетонные и асфальто-бетонные . . . . .	0,01—0,02	0,6—0,8
Щебеночные и гравийные с черным покрытием . . . . .	0,02—0,03	0,6—0,7
Щебеночные и гравийные, не обработанные вяжущими материалами . . . . .	0,03—0,05	0,4—0,5
Дороги с булыжной мостовой . . . . .	0,04—0,05	0,3—0,6
Деревянно-лежневые . . . . .	0,02—0,03	0,2—0,3
Грунтовая улучшенная, в хорошем состоянии:		
сухая . . . . .	0,03—0,04	0,25—0,35
влажная . . . . .	0,04—0,05	0,25—0,35
Грунтовая дорога неровная, грязная с колеями . . . . .	0,07—0,15	0,40—0,70
Грунтовая дорога неровная, песчаная или покрытая глубоким снегом . . . . .	0,12—0,25	0,40—0,70
Снежная дорога в удовлетворительном состоянии . . . . .	0,02—0,03	0,15—0,40
Ледяная дорога . . . . .	0,01—0,02	0,01—0,02

$\rho$  — плотность воздуха, зависящая от атмосферного давления и температуры воздуха и равная 1,20—1,30 кг/м<sup>3</sup>;

$S$  — лобовая площадь автомобиля, м<sup>2</sup>;

$v_0$  — скорость движения автомобиля относительно воздушной среды, м/сек.

Полное сопротивление от инерции при трогании с места и при ускорении движения определяется по формуле

$$W_j = \delta \frac{P}{g} \cdot \frac{dv}{dt} \text{ н,} \quad (7-7)$$

где  $P$  — общий вес экипажа, н;

$g$  — ускорение силы тяжести (9,81 м/сек<sup>2</sup>);

$\frac{dv}{dt}$  — ускорение движения, равное обычно 0,08—0,10 м/сек<sup>2</sup>;

$\delta$  — коэффициент, учитывающий влияние вращающихся масс автомобиля.

Для определения коэффициента  $\delta$  можно использовать формулу [32]:

$$\delta = 1 + \sigma i_k^2,$$

где  $\zeta$  — коэффициент, для современных автомобилей равный 0,04—0,09;

$i_k$  — передаточное число коробки передач.

Коэффициент дополнительного сопротивления от инерции определяется как частное от деления полного сопротивления  $W_j$  на вес экипажа, т. е.

$$w_j = \frac{W_j}{P}. \quad (7-9)$$

Дополнительное сопротивление при прохождении кривых зависит от их радиуса, ширины колеи и некоторых других факторов. Однако на автомобильных дорогах при нормальных радиусах кривых его величина настолько мала, что в практических расчетах им можно пренебречь. И только при минимальных радиусах кривых влияние дополнительного сопротивления становится ощутимым. Так, при  $R = 50$ —40 м коэффициент удельного сопротивления от кривой  $w_R = 0,005$ , при  $R = 30$  м  $w_R = 0,010$  и при  $R = 20$  м  $w_R = 0,015$ .

Сила торможения автомобиля возникает в результате действия тормозов.

Расчетное значение тормозной силы автомобиля равно

$$B_t = P_t \varphi \mu, \quad (7-9)$$

где  $P_t$  — тормозной вес автомобиля,  $\mu$ ;

$\varphi$  — коэффициент сцепления колес с дорогой.

Для прицепного подвижного состава тормозная сила равна

$$B_{np} = Q_{np} \varphi \mu, \quad (7-10)$$

где  $Q_{np}$  — вес, приходящийся на тормозные колеса прицепного подвижного состава,  $\mu$ .

Коэффициент тормозной силы как отношение полной тормозной силы поезда к его весу определяется по формулам:

а) при наличии тормозов только на тягаче (автомобиле)

$$b_k = \frac{B_t}{P + Q}; \quad (7-11)$$

б) при наличии тормозов на тягаче и некоторых колесах прицепного подвижного состава

$$b_k = \frac{B_t + B_{np}}{P + Q}; \quad (7-12)$$

в) при наличии тормозов на всех колесах автомобиля или автомобильного поезда

$$b_k = \varphi. \quad (7-13)$$

Необходимо учитывать, что современные лесовозные автомобили имеют тормоза на всех колесах. Что касается прицепного подвижного состава, то он почти весь выпускается без тормозов.

## 2. Определение весовых норм автомобильных поездов

Вывозка древесины по автомобильным дорогам осуществляется, как правило, поездами, состоящими из автомобиля и прицепного подвижного состава — полуприцепов, роспусков или прицепов. Основные схемы автомобильных поездов с колесным прицепным составом приведены на рис. 7—3, а с санным — на рис. 7—4.

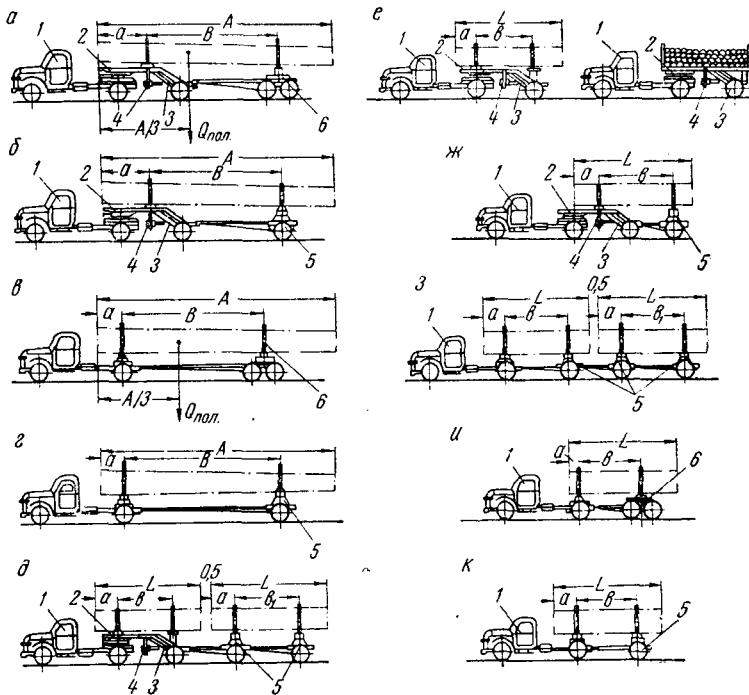


Рис. 7—3. Схемы автомобильных поездов с колесным прицепным составом:

1 — автомобиль-тягач; 2 — сцепное устройство; 3 — полуприцеп; 4 — откидной хвостик; 5 — односный роспуск; 6 — двухосный роспуск; а — г — при хлыстовой вывозке леса; д — к — при сортиментной

Весовая норма поезда зависит от его схемы, тяговых возможностей автомобиля и дорожных условий. Она должна назначаться из условий полного использования расчетной силы тяги автомобиля.

При расчёте веса поезда на лесовозных дорогах принимается наиболее неблагоприятный случай — трогание поезда с места на максимальном подъёме. Расчетной формулой при этом является

$$Q_{бп} = \frac{F_p - P_a (f'_0 + i_p + w_j)}{f''_0 + i_p + w_j} \text{ н,} \quad (7-14)$$

где  $F_p$  — расчетная касательная сила тяги автомобиля на I передаче, н;  $P_a$  — вес порожнего автомобиля, н;  $f'_0$ ,  $f'_1$  — коэффициенты основного сопротивления для автомобиля и прицепного состава;  $i_p$  — руководящий подъем дороги в грузовом направлении;  $w_j$  — коэффициент сопротивления от инерции (8).

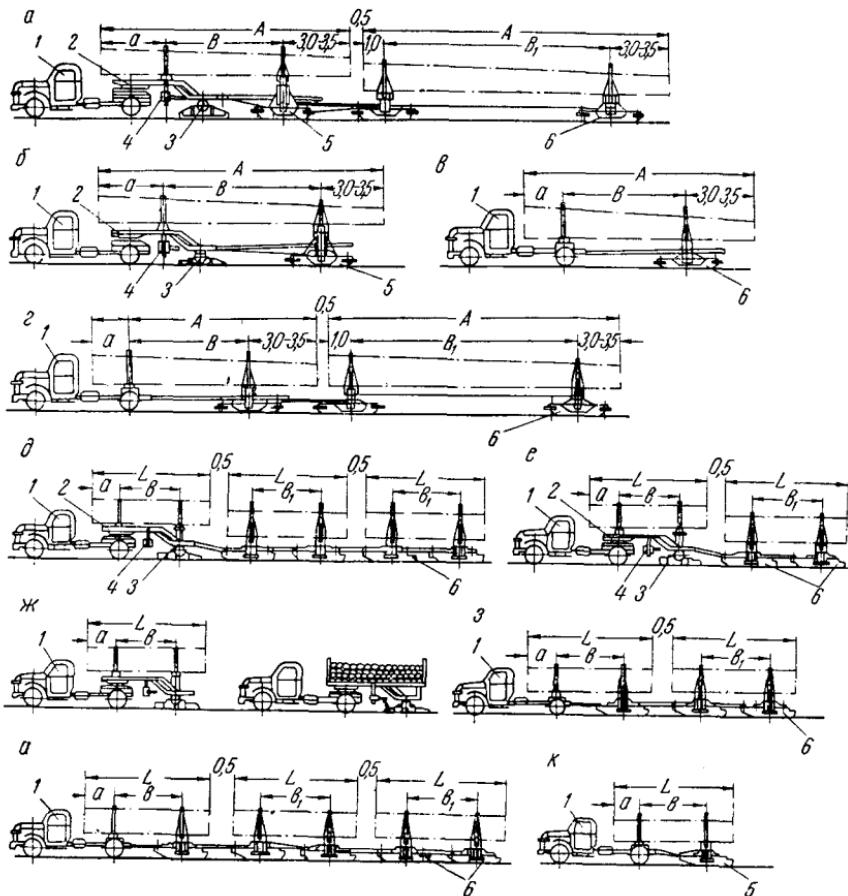


Рис. 7—4. Схема автомобильных поездов с санным прицепным составом: 1 — автомобиль-тягач; 2 — сцепное устройство; 3 — полуприцеп; 4 — откидной аутригер полуприцепа; 5 — однополозный (двухполозный) роллерспуск; 6 — однополозный (двухполозный) прицеп;  $a$  —  $g$  — при хлыстовой вывозке леса;  $d$  —  $k$  — при сортиментной

В том случае, когда сопротивления движению автомобиля и прицепного состава равны между собой, формула (14) может быть несколько видоизменена и упрощена.

Полезная рейсовая нагрузка автомобильного поезда равна

$$Q_{\text{пол}} = Q_{\text{бр}} - n P_{\text{пр}} h, \quad (7-15)$$

где  $n$  — число единиц прицепного подвижного состава в поезде;

$P_{\text{пр}}$  — вес единицы прицепного состава без груза,  $\text{н}.$

Объем перевозимой древесины вычисляется по формуле

$$Q'_{\text{пол}} = \frac{Q_{\text{бр}} - n P_{\text{пр}}}{g \gamma} m^3, \quad (7-16)$$

где  $g$  — ускорение земного притяжения,  $\text{м/сек}^2$ ;

$\gamma$  — объемная масса древесины,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Число единиц прицепного подвижного состава определяется по формуле

$$n = \frac{Q_{\text{бр}} - q_a}{P_{\text{пр}} + q_{\text{пр}}}, \quad (7-17)$$

где  $q_a$ ,  $q_{\text{пр}}$  — номинальная грузоподъемность автомобиля и единицы прицепного подвижного состава,  $\text{н}.$

В лесотранспортной литературе и даже в технических характеристиках часто приводится и используется в расчетах сила тяги на крюке. Численное ее значение можно вычислить по формуле

$$F_{\text{кр}} = F_{\text{к}} - P (f'_0 \pm i + w_j), \quad (7-18)$$

где  $P$  — вес автомобиля с нагрузкой,  $\text{н}.$

Очевидно, что сила тяги на крюке — величина переменная. Она изменяется в зависимости от изменения сопротивления движению.

Зная крюковую силу тяги, вес прицепного состава брутто определим из выражения

$$Q_{\text{бр (пр)}} = \frac{F_{\text{кр}}}{f'_0 + i_p + w_j}, \quad (7-19)$$

Таблица 7—2

Тип автомобильной дороги	Способ вывозки	Автомобили с роспусками (полу-прицепами) грузоподъемностью			
		150 кн и более		80 кн и более	
		МАЗ-501	МАЗ-200	ЗИЛ-151	ЗИЛ-164
Грунтовая	в хлыстах	14	13	12	10
	в сортиментах . . .	13	12	10	8,5
Лежневая, снежная и грунтовая улучшенная	в хлыстах	18	16	13	12
	в сортиментах . . .	16	14	11	10
Ледяная	в хлыстах	19	19	16	15
	в сортиментах . . .	19	19	14	13

а число единиц прицепного состава будет равно

$$n = \frac{Q_{бр} (пр)}{P_{пр} + q_{пр}}. \quad (7-17a)$$

Нормативные нагрузки в  $m^3$  для лесовозных автомобилей, работающих с роспусками, приведены в табл. 7—2.

### 3. Способы определения скоростей движения и времени хода

При организации лесотранспортных работ, расчете потребного количества тягового и прицепного подвижного состава иногда пользуются средними расчетными скоростями, которые для данной категории дорог и типа автомобиля устанавливаются по нормам. Более точный результат можно получить в том случае, когда скорости и время движения определяются с учетом профиля дороги, характеристики автомобиля, состояния проезжей части и рейсовой нагрузки.

Для определения скоростей движения и времени хода имеется несколько методов, в том числе:

а) методы, основанные на графическом интегрировании уравнения движения поезда;

б) методы, основанные на предположении, что скорость движения поезда на каждом элементе продольного профиля постоянна, а при переходе его с одного элемента на другой она изменяется мгновенно.

В практике лесотранспорта методы, основанные на графическом интегрировании уравнения движения, распространения не получили, так как ступенчатый характер кривых силы тяги автомобилей, а также неодинаковое сопротивление по длине дороги, разъезды, неровности проезжей части и другие дорожные факторы не позволяют выдержать движение в полном соответствии с теоретическим уравнением.

Для определения скоростей движения и времени хода лесовозных автомобилей чаще всего применяются упрощенные методы.

Рассмотрим четыре из них:

1. Графоаналитический метод, или метод равновесных скоростей, заключается в том, что на каждом элементе продольного профиля движение автомобильного поезда принимается равномерным с максимальной скоростью, определяемой из условия равновесия между тяговой силой и силами сопротивления.

Для определения скорости движения по этому методу необходимо вычислить потребное тяговое усилие на данном элементе:

$$F = (P_a + q_a) (f'_0 \pm i) + n (P_{пр} + q_{пр}) (f''_0 \pm i) \text{ н.} \quad (7-20)$$

Отложить его на оси ординат тяговой характеристики автомобиля (рис. 2) и провести горизонталь до пересечения с кривой

$F = f(v)$ . Абсцисса точки пересечения горизонтали и кривой даст искомую скорость.

Имея скорость движения и длину элемента, легко определить время хода.

Расчет равновесных скоростей движения и времени хода лесовозных автомобилей по этому методу можно произвести также в следующем порядке.

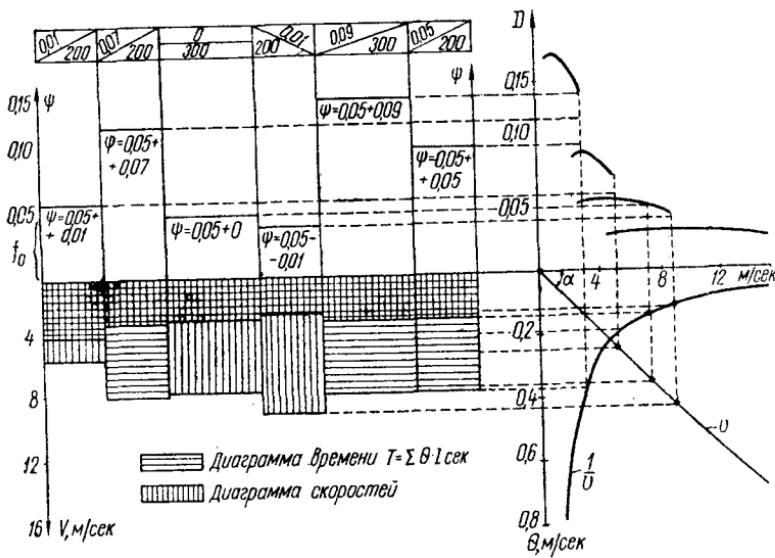


Рис. 7—5. Определение скоростей движения и времени хода методом равновесных скоростей

В правом верхнем квадрате (I четверть) прямоугольных координат (рис. 7—5) вычерчивается динамическая характеристика  $D = f(v)$ .

Динамический фактор в этом случае определяется по формуле

$$D = \frac{F_k - W_b}{P_a + n P_{\text{пр}} + Q_{\text{пол}}} . \quad (7-21)$$

Слева от начала координат (II четверть) по оси абсцисс в произвольном масштабе откладываются участки пути с различными уклонами, а по оси ординат откладывается значение  $\psi = f_0 \pm i$  в масштабе динамического фактора. В итоге получается продольный профиль дороги (дорожное сопротивление). В IV четверти строится кривая  $\Theta = \frac{1}{v} \text{ сек}/\text{м}$  и под углом проводится вспомогательная прямая, необходимая для графического построения эпюры скоростей. Дальнейшее построение выполняется

няется следующим образом. Для каждого участка профиля через точку с ординатой  $\psi$  проводится горизонтальная линия до пересечения с кривой  $D = f(v)$ .

Абсцисса точки пересечения будет соответствовать равновесной скорости на данном участке. Проектируя эту скорость на прямую ( $v$ ) и проводя через точку пересечения горизонтальную линию в III четверть, под рассматриваемым участком профиля

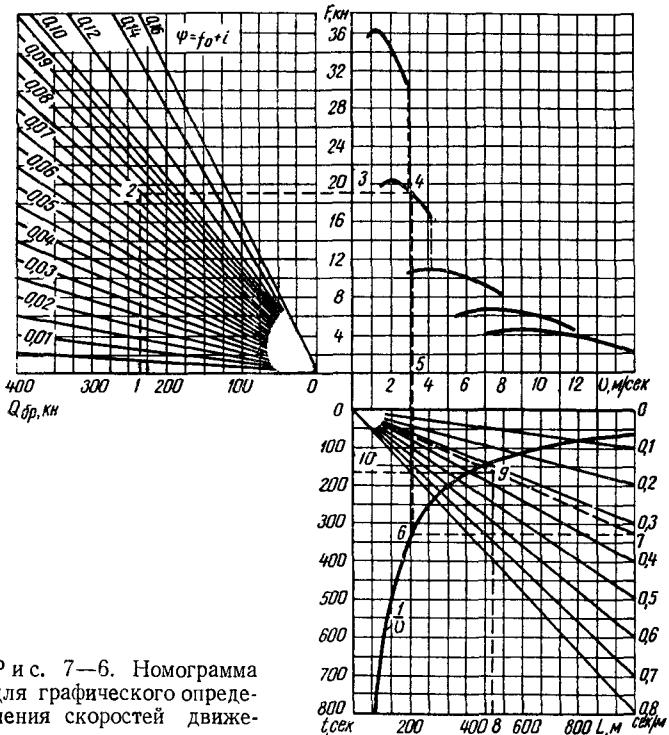


Рис. 7—6. Номограмма для графического определения скоростей движения и времени хода

получим диаграмму скорости. Проектируя же ее на кривую  $\Theta = f\left(\frac{1}{v}\right)$  и далее в III четверть, можно построить диаграмму времени. Площадь диаграммы времени соответствует искомому времени хода.

Ординаты диаграммы скоростей соответствуют скорости движения на различных участках продольного профиля.

II. При графическом методе расчет скоростей движения и времени хода производится по номограмме (рис. 7—6). В первой четверти номограммы изображается тяговая характеристика автомобиля; во второй — зависимость тягового усилия  $F$ , идущего на преодоление сопротивления дороги, от общего веса поезда  $Q_{бр}$

и коэффициента сопротивления движению  $\psi$ ; в четвертой — в зависимости от скорости движения автомобиля приведено время, затрачиваемое на 1 м пути (ось ординат справа), и время, затрачиваемое на движение по участку ( $L$ ) (ось ординат слева). По-

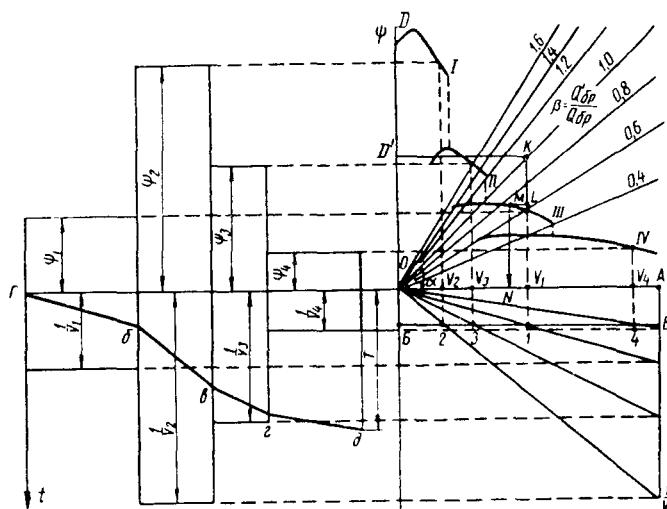


Рис. 7—7. График для определения скоростей движения и времени хода

следовательность пользования номограммой обозначена рядом цифр от 1 до 10.

III. Для определения времени хода лесовозных автомобилей может быть использован также графический метод, предложенный профессором Г. В. Зимелевым. Согласно этому методу, в I четверти прямоугольных координат (рис. 7—7) вычерчивается динамическая характеристика принятого автомобиля  $D = f(v, Q_{bp})$ , во II четверти — условный продольный профиль дороги (по оси абсцисс — длина пути в масштабе  $K$ , по оси ординат — коэффициенты суммарного сопротивления  $\psi$ ), в IV четверти — вспомогательные прямые  $\left(\frac{1}{v}\right)$  и в III четверти — кривая времени движения.

Построение вспомогательных прямых производится в следующем порядке. По оси абсцисс откладывается отрезок  $OA = p$  мм, а по оси ординат — отрезок  $OB = q$  мм. Через точки  $A$  и  $B$  проводим линии, параллельные осям. На горизонтальную линию  $BB'$  можно проектировать скорости  $v_n$ . Если из начала координат через точки 1, 2, 3 и т. д. проводить прямые линии, то на

вертикальной линии, проведенной через точку  $A$ , получим отношение  $\frac{1}{v_n}$ .

Найденные величины можно отложить на соответствующих участках (III четверть) и получить прямоугольники. Площадь каждого из них будет соответствовать времени движения на участках, а сумма этих площадей — времени движения по дороге (перегону).

Для построения кривой времени через точку  $G$  необходимо провести прямую  $Gb$ , параллельную лучу  $O-1$ ; из точки  $b$  проводим прямую  $bb'$ , параллельную лучу  $O-2$ , и т. д.

Выполняя графические построения по методу профессора Г. В. Зимелева, необходимо учитывать масштабы пути, скорости и другие величины, а также зависимость между этими масштабами.

Так, если принять путь в  $1 \text{ м} = K \text{ мм}$ , скорость в  $1 \text{ м/сек} = a \text{ мм}$ , динамический фактор  $0,1 = d \text{ мм}$ , отрезок  $OA = p \text{ мм}$ , отрезок  $OB = q \text{ мм}$ , то масштаб времени движения ( $1 \text{ сек} = t \text{ мм}$ ) определится из выражения

$$m = \frac{K}{a}, \quad (7-22)$$

а масштаб затраты времени на преодоление пути в  $1 \text{ м}$  (величина  $\frac{1}{v}$ ) будет равен

$$n = \frac{qp}{a}. \quad (7-23)$$

Коэффициенты суммарного сопротивления  $\psi$  при графическом построении необходимо откладывать в масштабе динамического фактора ( $d$ ).

Численное выражение масштабов, которое рекомендуется использовать в практических расчетах, приведено в табл. 7—3.

Таблица 7—3

Варианты	Путь $1 \text{ м}$ равняется $K, \text{мм}$	Скорость $1 \text{ м/сек}$ равняется $a, \text{мм}$	Динамический фактор $0,1$ равняется $d, \text{мм}$	Отрезок $p, \text{мм}$	Отрезок $q, \text{мм}$	Масштаб времени $t, \text{мм}$	Масштаб $n$ для величин $\frac{1}{v}$	Масштаб $\psi, \text{мм}$
I	0,10	5	40	100	10	0,020	200	40
II	0,50	5	20	80	5	0,100	80	20
III	0,05	5	50	100	10	0,010	200	50
IV	0,02	10	40	150	20	0,002	300	40

В первой четверти (рис. 7), кроме динамической характеристики, имеется расходящийся пучок прямых. Проведены эти прямые в соответствии с выражением

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{Q'_\text{бр}}{Q_\text{бр}} = \beta, \quad (7-24)$$

где  $Q_\text{бр}$  — вес автомобиля (поезда), принятый при вычислении динамического фактора  $D$ ;

$Q'_\text{бр}$  — фактический вес автомобиля (поезда), для которого необходимо вычислить скорости и время движения.

Ими необходимо пользоваться для учета веса поезда. Пусть вес автомобильного поезда при вычислении динамического фактора  $D$  был принят равным  $Q_\text{бр}$ .

В заданных конкретных условиях его величина составила  $Q'_\text{бр}$ . Для определения динамического фактора и скорости в этих условиях достаточно вычислить отношение (24) (примем  $\beta = 0,6$ ), отложить на оси ординат коэффициент суммарного сопротивления дороги (точка  $D'$ ), провести горизонталь до пересечения с лучом  $\beta = 1,0$  и вертикаль до линии  $\beta = 0,6$ . Ордината точки  $L$  представляет собой не что иное, как динамический фактор при  $Q'_\text{бр}$ . Зная динамический фактор, можно определить скорость (точка  $N$ ) и найти все рассмотренные выше величины.

При определении скорости движения и времени хода на элементах продольного профиля (спусках) с уклонами  $i \geq f_0$  могут быть два случая:

1) крутизна спуска не превышает максимально допустимой его величины, исходя из условий торможения, т. е.

$$i \leq i_{\max}, \quad (7-25)$$

причем

$$i_{\max} = f_0 + b_k - \frac{v_h^2}{2g(S_b - v_h t_0)}, \quad (7-26)$$

где  $v_h$  — скорость движения в начале торможения, м/сек;

$S_b$  — расстояние видимости, м;

$t_0 = 1,0 - 1,5$  сек — время реакции водителя;

$f_0$  — коэффициент основного сопротивления движению;

2) крутизна спуска большая, и имеет место неравенство

$$i > i_{\max}. \quad (7-27)$$

В первом случае скорость движения может быть принята равной расчетной, допускаемой по техническим условиям.

Во втором случае величину скорости в зависимости от значения уклона можно определить по формуле

$$v_c = g t_0 (f_0 + b_k - i) \left( \sqrt{1 + \frac{2S_t}{g t_0 (f_0 + b_k - i)}} - 1 \right) \text{ м/сек.} \quad (7-28)$$

Однако и она не должна превышать расчетной величины.

Время хода для каждого элемента продольного профиля, требующего торможения, определяется по формуле

$$t = \frac{l}{v_c} \text{ сек,} \quad (7-29)$$

где  $l$  — длина элемента профиля, м;

$v_c$  — допускаемая скорость на спуске, м/сек.

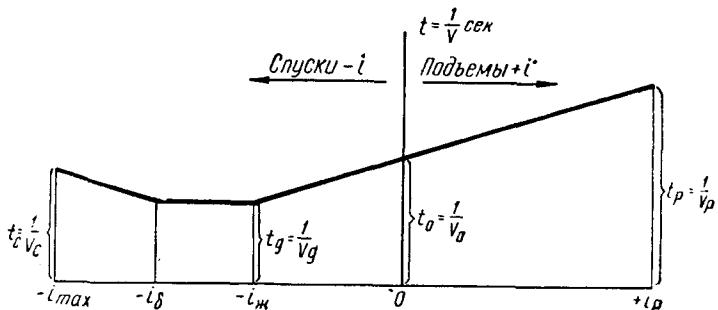


Рис. 7-8. График для расчета времени хода автомобиля

IV. Для определения времени пробега автомобилей может быть использована формула

$$t = \alpha L + \beta H_n - \gamma H'_c - \delta H''_c \pm \xi H'''_c, \quad (7-30)$$

где  $L$  — расстояние между двумя пунктами, м;

$H_n$  — сумма подъемов (м), преодолеваемых в данном направлении на расстоянии  $L$ ;

$H'_c$ ,  $H''_c$ ,  $H'''_c$  — сумма спусков (м), желательных, безвредных, требующих торможения;  
 $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\xi$  — коэффициенты (31).

К желательным относятся спуски, влияние которых может быть использовано для повышения скорости движения. Предельное значение желательных спусков устанавливается по тяговой или динамической характеристике автомобиля.

Безвредный — спуск, который может быть преодолен без уменьшения скорости (без торможения). Величина его определяется по формуле (26). Спуски больше безвредных требуют торможения и преодолеваются на пониженных скоростях. Скорость в этом случае вычисляется по формуле (28).

Для определения коэффициентов, входящих в формулу (30), необходимо построить график (рис. 7-8).

По оси абсцисс этого графика откладываются уклоны в пределах от  $-i_{\max}$  до  $+i_p$ , а по оси ординат — время, затрачиваемое на преодоление пути в 1 м. Характерные скорости:  $v_p$  — на руководящем подъеме,  $v_0$  — на горизонтальном участке пути (устанавливаются по тяговой характеристике),  $v_d$  — расчетная, допускаемая по ТУ или по технической характеристике, и  $v_c$  — допускаемая на спуске, согласно условиям торможения по формуле (28).

Значение коэффициентов определяется из выражений:

$$\alpha = t_0; \beta = \frac{t_p - t_0}{i_p}; \gamma = \frac{t_0 - t_d}{i_{nc}};$$

$$\delta = t_d; \xi = \frac{t_c - t_d}{i_{\max} - i_b}. \quad (7-31)$$

В формуле (30) знак (+) принимается при  $t_c > t_0$  и знак (—) — при  $t_c \leq t_0$ .

После определения времени движения автомобиля по элементам профиля и вычисления времени хода в грузовом  $t_{gp}$  и порожняковом  $t_{por}$  направлениях можно перейти к вычислению других показателей работы автомобильного лесотранспорта.

Время рейса определяется по формуле

$$t_{рейс} = t_{gp} + t_{por} + t_{п. п} + t_{п. с} \text{ сек}, \quad (7-32)$$

где  $t_{п. п}$  — простой автомобиля под погрузкой;

$t_{п. с}$  — простой автомобиля под разгрузкой.

Средняя скорость движения в грузовом направлении

$$v = \frac{L}{t_{gp}}, \quad (7-33)$$

где  $L$  — расстояние вывозки, м.

Средняя скорость в порожняковом направлении

$$v_{por} = \frac{L}{t_{por}}. \quad (7-34)$$

Средняя техническая скорость движения автомобиля на вывозке леса определяется из выражения

$$v_{ср. техн} = \frac{2v_{gp} \cdot v_{por}}{v_{gp} + v_{por}} \text{ м/сек.} \quad (7-35)$$

Средняя эксплуатационная (коммерческая) скорость

$$v_{ср. экспл} = \frac{2L}{t_{рейс}}. \quad (7-36)$$

Полученные скорости движения и время хода по отдельным участкам дороги используются для определения производительности автомобилей по вывозке леса, организации лесотранспортных работ, при решении других эксплуатационных задач.

#### 4. Производительность лесовозных автомобилей

Производительность автомобилей на вывозке леса зависит от их типа, профиля дороги, состояния проезжей части, расстояния вывозки, способа организации лесозаготовительных и лесотранспортных работ и некоторых других факторов.

Сменная производительность автомобиля определяется по формуле

$$P = \frac{T - \Delta t}{t_{\text{рейс}}} Q_{\text{пол}} \text{ м}^3/\text{смену}, \quad (7-37)$$

где  $T$  — продолжительность смены, сек;

$\Delta t$  — подготовительно-заключительное время смены (заправка, приемка, уход и сдача автомобиля), сек;

$Q_{\text{пол}}$  — объем древесины, перевозимой за один рейс,  $\text{м}^3$ .

Количество транспортных средств, необходимое для выполнения задания по вывозке леса, определяется по формуле

$$N_a = \frac{Q_{\text{год}}}{AnK_{t,g} P}, \quad (7-38)$$

где  $Q_{\text{год}}$  — годовой объем производства,  $\text{м}^3$ ;

$A$  — число дней работы в году;

$n$  — число смен работы;

$K_{t,g}$  — коэффициент технической готовности;

$P$  — сменная производительность (норма выработки),  $\text{м}^3$ .

Списочное количество колесного прицепного состава обычно принимается равным списочному количеству автомобилей. При работе автомобилей со сменными прицепами необходимо иметь дополнительные комплекты.

Списочное количество санного прицепного состава определяется по формуле

$$N_c = N_a n_1 k_1, \quad (7-39)$$

где  $n_1$  — количество единиц прицепного подвижного состава в поезде;

$k_1$  — количество санных комплектов для одного автомобиля ( $k_1 = 2 \div 3$ ).

#### 5. Расчет потребности горюче-смазочных материалов

При движении автомобильного поезда по дороге расход топлива изменяется в зависимости от изменения силы сопротивления (мощности) и скорости движения. Зависимость эта может быть представлена графически в виде экономической характеристики автомобиля [32, 52], а также аналитически в виде формулы

$$G = q_e N t \text{ кг}, \quad (7-40)$$

где  $G$  — расход топлива (кг) за время (сек) работы двигателя;

$N$  — мощность двигателя, вт;

$q_e$  — удельный расход топлива, кг/вт·сек.

$t$  — время работы двигателя, сек.

Расчеты расхода топлива по экономической характеристике и по формуле (41) являются трудоемкими, и поэтому в практике ими пользуются очень редко. Вместо них применяется приближенный метод, основанный на исчислении общего пробега автомобилей и норм расхода топлива на 100 км пробега.

Общий пробег лесовозных автомобилей определяется по формуле

$$L_0 = \frac{2R_0}{Q} \text{ км}, \quad (7-41)$$

где  $R_0$  — грузовая работа, кДж;

$Q$  — рейсовая погрузка, т.

Ориентировочные нормы расхода горючего на 100 км по шоссе с полной нагрузкой пробега приведены в табл. 7—4.

Т а б л и ц а 7—4

Автомобили	Вид топлива	Расход на 100 км пробега, л
Урал 355М	бензин	24
ЗИЛ-150, ЗИЛ-130	»	29,27
ЗИЛ-151	»	47
ЗИЛ-157	»	42
ЗИЛ-164	»	27
ЗИЛ-585	»	40
ГАЗ-53	»	32,8
ГАЗ-93	»	28
МАЗ-200	дизельное	35
МАЗ-205	»	37
МАЗ-500	»	28
МАЗ-501	»	60
МАЗ-502	»	50
ЯАЗ-214	»	55

П р и м е ч а н и я:

- При работе автомобилей на дорогах с переходными типами покрытий норма расхода топлива может быть повышенна на 10—15%.
- При работе автомобилей в зимнее время со средней температурой ниже 0° нормы расхода топлива могут быть повышенны на 10%.
- При работе автомобилей с прицепами делается надбавка 6% на каждые 10 кн буксируемого груза (включая вес прицепа) при условии полной загрузки автомобиля.
- Норма расхода топлива для автомобилей, работающих на вывозке леса с лесных участков к основным магистралям, повышается на 15%.

Расход смазочных материалов при эксплуатации лесовозных автомобилей принимается в процентах от расхода горючего, а именно:

- 1) расход автоля — 4—6 % от расхода горючего;
- 2) расход трансмиссионной смазки:
  - а) для автомобилей с одной ведущей осью — 0,8 %;
  - б) для автомобилей с несколькими ведущими осями — 1,5 %;
- 3) расход консистентных смазок (солидола и др.) — 1 %.

Для автомобилей, занятых на дорожных, хозяйственных и других работах, расход топлива и смазки устанавливается в соответствии с планируемым или фактическим пробегом автомобилей при выполнении этих работ.

## 7—2. ВЫБОР ТИПА АВТОМОБИЛЯ И ПРИЦЕПНОГО СОСТАВА

Эффективность применения того или иного автомобиля по вывозке леса определяется многими факторами [44], из которых важнейшими являются производительность автомобилей и себестоимость вывозки 1 м<sup>3</sup> древесины.

На выбор подвижного состава большое влияние оказывают также грузооборот и тип дороги, расстояние вывозки, характеристика лесосечного фонда, способ трелевки, погрузки древесины и другие факторы.

По предложению ЦНИИМЭ условия применения той или иной транспортной машины рекомендуется определять с помощью так называемого *критического грузооборота дороги* [52].

Критический годовой грузооборот дороги для сравниваемых автомобилей определяется по формуле

$$Q_{kp} = \frac{L_{ct}(C'_D - C''_D)}{C''_t - C'_t} m^3, \quad (7-42)$$

где  $L_{ct}$  — строительная длина дороги, включающая магистраль ветки и усы, м (см. гл. I);

$C'_D$  — средневзвешенные затраты на строительство и содержание 1 м дороги в год для автомобиля большей грузоподъемности, руб/м;

$C''_D$  — то же для автомобиля меньшей грузоподъемности;

$C'_t$  — стоимость трелевки, погрузки, вывозки и разгрузки 1 м<sup>3</sup> древесины для автомобиля большей грузоподъемности, руб/м<sup>3</sup>;

$C''_t$  — то же для автомобиля меньшей грузоподъемности.

Для определения  $C_D$  можно использовать выражение

$$C_D = \frac{1}{L_{ct}} \left[ L_y \left( \frac{A_y}{n_y} + \vartheta_y \right) + L_b \left( \frac{A_b}{n_b} + \frac{P_b}{m_b} + \vartheta_b \right) + L_m \left( \frac{A_m}{n_m} + \frac{P_m}{m_m} + \vartheta_m \right) \right], \quad (7-43)$$

где  $A_y$ ,  $A_b$ ,  $A_m$  — стоимость строительства уса, ветки и магистрали, отнесенная к 1 м дороги, руб/м;

$P_b$ ,  $P_m$  — относительные затраты на капитальный ремонт веток и магистрали, руб/м;

$\vartheta_y$ ,  $\vartheta_b$ ,  $\vartheta_m$  — стоимость содержания 1 м уса, ветки и магистрали в год, руб/м;

$n_y$ ,  $n_b$ ,  $n_m$  — срок службы уса, ветки, магистрали, год;  
 $m_b$ ,  $m_m$  — межремонтный срок для ветки и магистрали, год.

Стоимость трелевки, погрузки, вывозки и разгрузки определяется по формуле

$$C_t = C_n + C_L \text{ руб/м}^3, \quad (7-44)$$

где  $C_n$  — первоначальная транспортная стоимость древесины, находящейся на погрузочной площадке лесосеки, руб/м<sup>3</sup>;

$C_L$  — стоимость погрузки, разгрузки и вывозки древесины автопоездами на нижний склад, руб/м<sup>3</sup>.

Причем численное значение  $C_n$  и  $C_L$  вычисляется, исходя из производительности и стоимости машино-смены, трелевочных, транспортных, погрузочных и разгрузочных средств.

Вычислив критический грузооборот  $Q_{kp}$  и сравнив его с фактическим грузооборотом  $Q_\phi$  рассматриваемой дороги, можно установить целесообразность применения того или иного автомобиля, а именно: если  $Q_\phi > Q_{kp}$ , то на вывозке леса следует использовать автомобиль большей грузоподъемности. В случае  $Q_\phi < Q_{kp}$  — автомобиль меньшей грузоподъемности.

Выбирая тип автомобиля для вывозки леса, необходимо учитывать, что:

а) одновременное использование разнотипных автомобилей на лесовозной дороге нерационально;

б) применение большегрузных автомобилей на дорогах, имеющих недостаточную несущую способность, недопустимо;

в) с увеличением грузооборота дороги увеличивается целесообразность применения автомобилей более высокой грузоподъемности;

г) использование на вывозке леса автомобилей повышенной и высокой проходимости должно быть ограниченным и допускаться в исключительных случаях на неустроенных дорогах при небольшом грузообороте.

Прицепной подвижной состав автомобильных лесовозных дорог разделяется на прицепы, полуприцепы и роспуски. Бывает он колесный и санный. Имеются также некоторые его конструктивные различия и разная грузоподъемность.

Выбор типа прицепного подвижного состава производится с учетом способа вывозки, величины рейсовой погрузки, времени года и типа тяговой машины.

При хлыстовой вывозке леса обычно применяются различного

типа роспуски или полуприцепы и роспуски. Сцепка роспуска с автомобилем или полуприцепом обычно принимается крестообразная.

Сортиментная вывозка производится с помощью прицепов или роспусков, соединенных с автомобилем жестким дышлом.

Санный прицепной состав применяется в зимнее время и притом в тех районах, где бывает устойчивая зима. В районах с неустойчивой зимой, а также в бесснежный период года применяется колесный прицепной состав. Ширина колеи колесного прицепного состава обычно должна соответствовать ширине колеи автомобиля. Но если дорога имеет твердое покрытие, то от этого требования могут быть отклонения.

Грузоподъемность прицепного состава  $q_{\text{пр}}$  должна быть достаточной, чтобы воспринять приходящуюся на него нагрузку  $Q_{\text{пр}}$ , т. е.  $q_{\text{пр}} \geq Q_{\text{пр}}$ , причем

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{пол}} - q_a, \quad (7-45)$$

где  $Q_{\text{пол}}$  — полезная рейсовая нагрузка,  $н$ ;

$q_a$  — грузоподъемность автомобиля,  $н$ .

Важным вопросом эксплуатации автомобильного транспорта является правильное распределение погрузки между кониками. Изменяя длину дышла, а следовательно, и расстояние между кониками, можно изменить соотношение погрузок, приходящихся на коники автомобиля и роспуска. Если известны вес перевозимого груза  $Q_{\text{пол}}$ , грузоподъемность автомобиля  $q_a$  и прицепа-роспуска  $q_{\text{пр}}$ , то расстояние между кониками на основании схемы (рис. 7—9) определяется по формуле

$$B = \frac{Q_{\text{пол}}(C - a_1)}{q_{\text{пр}}}. \quad (7-46)$$

Причем значение  $a_1$  принимается не менее 0,5 м, а значение  $a_2$  — не менее 0,7—1,0 м. Расстояние от комля до центра тяжести пакета обычно принимают: при хлыстовой вывозке  $C = 0,30A \div 0,35A$ ; при сортиментной вывозке и погрузке в разнокомелицу  $C = 0,50A$ ; при сортиментной вывозке и погрузке комлями в одну сторону  $C = 0,45A \div 0,50A$ .

Решая вопрос о выборе типа тягового и прицепного состава,

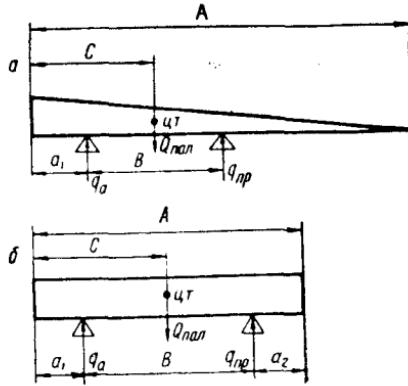


Рис. 7—9. Схема распределения нагрузок между кониками автомобиля и роспуска:  
а — при хлыстовой, б — при сортиментной вывозке

необходимо стремиться к наиболее полному его использованию как на мощность, так и по грузоподъемности.

Большой интерес представляет автомобильный поезд (рис. 7—10), предложенный в БТИ имени С. М. Кирова доцентом В. Д. Мартынихиным.

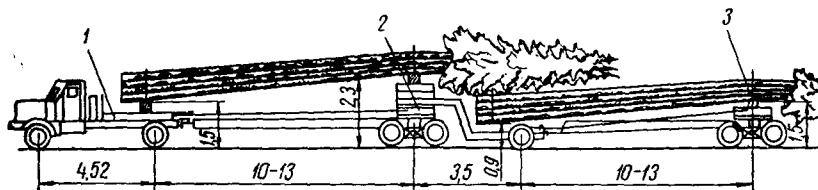


Рис. 7—10. Схема автомобильного поезда конструкции В. Д. Мартынихина:  
1 — автомобиль МАЗ-501; 2 — двухъярусный прицеп грузоподъемностью 200 кн; 3 — прицеп-роспуск 2-Р-15

Состоящий из автомобиля, двухъярусного прицепа и прицепа-роспуска, он позволяет значительно повысить полезную рейсовую нагрузку, полностью использовать тяговые возможности мощных современных автомобилей, резко повысить производительность автомобильного лесотранспорта.

Тяговые и эксплуатационные расчеты, а также расчеты по распределению нагрузки на отдельные опоры этого поезда не имеют принципиальных различий с теми, которые рассмотрены для других схем поездов. Ими можно пользоваться и в этом случае.

### 7—3. ОРГАНИЗАЦИЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ РАБОТ

Транспорт леса является составной частью технологического процесса лесозаготовительного предприятия. Его работа должна быть увязана со смежными фазами производства и организована с учетом местных условий и особенностей лесозаготовок. При организации лесовывозки необходимо обеспечивать бесперебойность работы автомобилей, погрузочных средств и нижнего склада лесовозной дороги [36].

Для обеспечения нормальной работы нижнего склада обычно бывает достаточна более или менее равномерная доставка на него древесины в течение смены.

Для обеспечения нормальной работы погрузочных пунктов, на которых погрузка леса выполняется трелевочными тракторами или лебедками, важно обеспечить равномерное прибытие на них лесовозных автомобилей с интервалами, достаточными для создания запаса подтрелеванной древесины, необходимого для погрузки очередного автомобиля. В случае применения на погрузке леса кранов желательно, чтобы автомобили прибывали на лесо-

секу с интервалами, равными затратам времени на погрузку одного автомобиля.

Основным документом, определяющим организацию лесотранспортных работ на дороге, является график движения автомобилей (рис. 7—11).

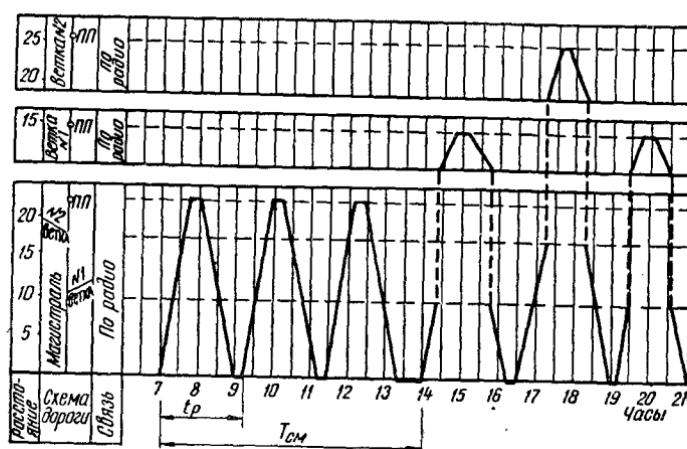


Рис. 7—11. График движения автомобильных поездов

Исходными при составлении графика движения лесовозных автомобилей являются:

- 1) количество одновременно действующих погрузочных пунктов, их местоположение и суточные объемы погрузки леса на каждом из них;
- 2) количество рейсов, которое необходимо ежедневно делать на погрузочные пункты для выполнения заданного объема лесо-вывозки;
- 3) время хода в грузовом и порожняковом направлениях;
- 4) время простояев автомобилей на погрузочном пункте и нижнем складе;
- 5) режим работы предприятия, отдельных его участков и цехов.

Количество одновременно действующих погрузочных пунктов определяется из выражения

$$m = \frac{Q_{\text{сут}}}{n P_{\text{бр}}}, \quad (7-47)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  — суточный грузооборот дороги,  $m^3$ ;

$n$  — число смен работы;

$P_{\text{бр}}$  — средняя сменная производительность комплексной бригады (погрузочного механизма),  $m^3$ .

Количество рейсов для каждого погрузочного пункта вычисляется по формуле

$$n_p = \frac{Q_i}{Q_{\text{пол}}}, \quad (7-48)$$

где  $Q_i$  — объем древесины, отгружаемой за сутки в заданном пункте;

$Q_{\text{пол}}$  — полезная рейсовая нагрузка.

Время хода в грузовом и порожняковом направлениях определяется приведенными выше способами или же опытным путем.

Простой автомобиля под погрузкой можно вычислить по формуле

$$t_{\text{п. п}} = \frac{Q'_{\text{пол}}}{P_{\text{п}}} \text{ сек}, \quad (7-49)$$

где  $P_{\text{п}}$  — производительность погрузочной машины,  $\text{м}^3/\text{сек}$ .

Время пребывания лесовозного автомобиля в пунктах разгрузки обычно колеблется в пределах 15—25 мин и зависит от применяемых для разгрузки средств, способа заправки автомобилей, пропускной способности склада и некоторых других факторов.

Организация лесотранспортных работ в леспромхозах осуществляется диспетчером. Важную роль при этом играет наличие и вид связи. При налаженной телефонной связи или при двухсторонней радиосвязи на дороге может быть достигнута четкая организация движения машин, ритмичная работа транспорта и связанных с ней смежных служб и фаз производства. Особо важное значение имеет организация движения машин и работы транспорта на дорогах с однополосной проезжей частью. В этом случае необходимо стремиться к уменьшению непроизводительных простоеев автомобилей на разъездах, к сокращению числа встреч автомобилей на участках с ограниченной видимостью.

#### 7—4. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ СОДЕРЖАНИЯ И РЕМОНТА ДОРОГ

Работы по содержанию и ремонту автомобильных лесовозных дорог направлены на снижение себестоимости вывозки древесины, обеспечение безопасности движения, увеличение работоспособности и продление срока службы покрытия.

В зависимости от типов дорог, сроков службы, состояния и видов повреждений требуются различные работы по их содержанию и ремонту. Исходя из экономических и технических признаков, их можно разделить на следующие основные виды: содержание дорог, текущий, средний, капитальный и восстановительный ремонты.

*Содержание дорог* — комплекс мероприятий, обеспечивающий сохранность всех дорожных сооружений в состоянии, пригодном для безопасного и бесперебойного движения автомобилей. Работы

по содержанию дорог производятся круглый год и разделяются на весенние, летние и зимние.

*Текущий ремонт дороги* включает работы по устранению разного рода повреждений. Он бывает предупредительный и вынужденный. Предупредительный текущий ремонт выполняется в плановом порядке. При этом исправляются места возможных повреждений, а также места, в которых повреждения начали появляться.

К вынужденным ремонтам относятся исправления повреждений, своевременно не устранных в порядке планового предупредительных ремонтов.

*Средний ремонт* включает работы по восстановлению слоя износа покрытия и улучшению эксплуатационных качеств проезжей части. Как правило, он выполняется на значительном протяжении дороги.

*Капитальный ремонт* предусматривает полную или частичную замену элементов дорожных сооружений. Различают два вида капитального ремонта:

а) *возобновительный* — предусматривающий полное или частичное обновление сооружения без изменения рода материала, профиля и плана дороги;

б) *реконструктивный* — предусматривающий полное или частичное обновление с увеличением прочности или с изменением рода материала и конструкции, но без изменения параметров дороги.

Реконструкция же дорог сопровождается не только их усилением, но и изменением трассы на отдельных участках, ширины земляного полотна, конструкции дорожной одежды и других сооружений и элементов. При реконструкции, как правило, повышается технический класс дороги.

Объем работ по содержанию и ремонту дорог находится в тесной связи с износом покрытий, который зависит от климатических, эксплуатационных и некоторых других факторов. Под действием осадков, колебания температуры и ветра происходит выветривание материала. С течением времени многие материалы стареют, их прочность уменьшается. Особое влияние на износ покрытия оказывает механическое воздействие подвижного состава. С увеличением напряженности и скорости движения, повышением осевых нагрузок и жесткости подвески износ покрытия увеличивается. Величина износа зависит также от конструкции дороги, качества материалов и некоторых других характеристик.

Для определения величины годового износа можно использовать преобразованную формулу СоюздорНИИ:

$$h = a + b [10^{-9} \gamma Q_r (1 + 2k)] \text{ мм}, \quad (7-50)$$

где  $a$  — коэффициент, численное значение которого зависит от природных условий, в которых работает покрытие;

$b$  — коэффициент, численное значение которого зависит от конструкции и прочности верхнего слоя покрытия;

$\gamma$  — объемная масса древесины;

$Q_f$  — годовой грузооборот дороги,  $m^3$ ;

$k$  — отношение веса порожнего поезда к полезной рейсовой нагрузке.

Значение коэффициентов  $a$  и  $b$  для различных типов покрытий приведены в табл. 7—5.

Т а б л и ц а 7—5

Типы покрытий	Значение коэффициентов	
	$a$	$b$
Асфальтобетонные	0,4—0,6	0,25—0,55
Черные щебеночные и черные гравийные:		
а) с двойной поверхностной обработкой . . . . .	1,3—2,7	3,5—5,5
б) с одиночной поверхностной обработкой . . . . .	1,4—2,8	4,0—6,0
Щебеночные:		
а) из прочного щебня . . . . .	4,5—5,5	15—20
б) из щебня небольшой прочности . . . . .	5,5—6,5	19—25
Гравийные:		
а) из прочного гравия . . . . .	3,0—4,0	15—32
б) из слабого гравия . . . . .	4,0—6,0	20—30

Величины износа дорожных покрытий, полученные на основании многолетних наблюдений за дорогами государственной сети, приведены в табл. 7—6.

Т а б л и ц а 7—6

Типы дорожных покрытий	Износ дорожных покрытий (мм) за год при движении		
	интенсивном	средней интенсивности	слабой интенсивности
Асфальтобетонные . . . . .	5,6—6,0	3,1—3,9	1,1—1,4
Щебеночные, обработанные органическими вяжущими . . . . .	10,1—16,0	8,5—12,0	5,8—7,0
Щебеночные, не обработанные органическими вяжущими . . . . .	24,1—35,5	14,0—23,4	8,5—13,4
Гравийные . . . . .	не выдерживают	29,4—37,3	18,8—24,1

Определив величину годового износа, можно установить количество материала  $U$ , необходимое для восстановления 1 км покрытия:

$$U = hbK_y, \quad (7-51)$$

где  $h$  — годовой износ покрытия, мм;

$b$  — ширина проезжей части, м;

$K_y$  — коэффициент уплотнения, принимаемый для усовершенствованных покрытий 1,4, для переходных (щебеночных, гравийных) — 1,3.

Работоспособность дорожного покрытия, характеризуемая количеством грузов, пропущенных по дороге за промежуток времени между двумя ремонтами, определяется по формуле

$$B = nGT \text{ кн}, \quad (7-52)$$

где  $G$  — суточная напряженность движения (брутто), кн;

$n$  — число дней в году, в течение которых дорога не покрыта снегом;

$T$  — продолжительность одного цикла или всего срока службы покрытия между двумя ремонтами, год.

По данным профессора А. К. Бирули, полная работоспособность дорожных покрытий в меганьютонах имеет следующее значение:

грунтовых, улучшенных добавками . . . . .	2000—6000
грунтовых, обработанных битумом . . . . .	6000—8000
гравийных . . . . .	8000—12 000
щебеночных (из камня твердых пород) . . . .	10 000—20 000
гравийных, обработанных битумом . . . . .	50 000
щебеночных, обработанных битумом . . . . .	75 000

Зная работоспособность покрытий и напряженность движения, по формуле (52) можно вычислить межремонтные сроки.

Расчеты, связанные с организацией и производством работ по содержанию и ремонту дорог, имеют много общего с расчетами по строительству (см. гл. VI). Как и при строительстве, в этом случае необходимо учитывать условия, характер и объем работ, применяемые машины и технологические процессы [77].

## 7-5. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Пример 50.** Определить касательную силу тяги на ведущих колесах автомобиля МАЗ-500, принимая за исходные следующие данные: максимальный крутящий момент  $M = 656 \text{ нм}$ ; передаточные числа: коробка передач I — 6,17; II — 3,40; III — 1,79; IV — 1,00; V — 0,78; главной передачи: высшей ступени — 7,73; низшей — 10,76; радиус колеса  $r = 0,562 \text{ м}$ .

**Решение.** 1. Вычислим расчетный радиус качения колеса  $r_k = 0,95r = 0,95 \cdot 0,562 = 0,534 \text{ м}$ .

2. Приняв механический коэффициент полезного действия силовой передачи  $\eta_m = 0,8$ , значение касательной силы определим по формуле (2), сведя расчеты в табл. 7—7.

Т а б л и ц а 7—7

Передачи: в — высшая ступень н — низшая ступень	$M, \text{ нм}$	$i_k$	$i_0$	$r_k, \text{ м}$	$\eta_m$	$F_k, \text{ кн}$
I в	656	6,17	7,73	0,534	0,8	46,9
I н	656	6,17	10,76	0,534	0,8	65,3
II в	656	3,40	7,73	0,534	0,8	25,8
II н	656	3,40	10,76	0,534	0,8	36,0
III в	656	1,79	7,73	0,534	0,8	13,6
III н	656	1,79	10,76	0,534	0,8	18,9
IV в	656	1,00	7,73	0,534	0,8	7,6
IV н	656	1,00	10,76	0,534	0,8	10,6
V в	656	0,78	7,73	0,534	0,8	5,8
V н	656	0,78	10,76	0,534	0,8	8,0

Из табл. 7 видно изменение касательной силы тяги с переходом от низших к высшим передачам.

**Пример 51.** Вычислить расчетную силу тяги автомобиля ЗИЛ-130 на II передаче и коэффициент использования ее, если известно, что крутящий момент на валу двигателя  $M = 400 \text{ нм}$ , передаточные отношения: коробки передач  $i_k = 4,10$ ; главной передачи  $i_0 = 6,45$ ; расчетный радиус ведущих колес  $r = 0,49 \text{ м}$ ; рейсовая нагрузка  $Q = 55 \text{ кн}$ , дорога с цементно-битумным покрытием, руководящий уклон ее  $i_p = 40\%$ .

**Решение.** 1. Определим касательную силу тяги

$$F_k = \frac{Mi_k i_0 \eta_m}{r} = \frac{400 \cdot 4,10 \cdot 6,45 \cdot 0,8}{0,49} = 17250 \text{ н.}$$

где  $\eta_m = 0,8$  — к. п. д. силовой передачи.

2. Произведем проверку возможности реализации полученной касательной силы по условиям сцепления колес с дорогой.

Сцепной вес автомобиля ЗИЛ-130, согласно технической характеристике,  $P_{сц} = 66,43 \text{ кн}$ . Коэффициент сцепления (табл. 1) бетонного покрытия в сухом состоянии  $\varphi_1 = 0,6$  и во влажном  $\varphi_2 = 0,3$ . При уклоне дороги  $i = 40\%$  угол подъема  $\alpha = 0,04 \text{ rad}$ , а  $\cos \alpha = 0,9211$ .

Используя эти данные, получим:

$$F_{\text{сц}} = P_{\text{сц}} \varphi_1 \cos \alpha = 66,43 \cdot 0,6 \cdot 0,9211 = 36,7 \text{ кн};$$

$$F_{\text{сц}} = P_{\text{сц}} \varphi_2 \cos \alpha = 66,43 \cdot 0,3 \cdot 0,9211 = 18,4 \text{ кн}.$$

Так как  $F_{\text{сц}} > F_k$ , то за расчетную силу тяги принимаем  $F_k = 17,25 \text{ кн}$ .

3. Вычислим полное сопротивление движению груженого автомобиля

$$W = (P + Q)(f_0 + i) = (40 + 55)(0,015 + 0,04) = 5,28 \text{ кн},$$

где  $f_0 = 0,015$  — коэффициент основного сопротивления движению (табл. 1).

4. Коэффициент использования силы тяги в заданных условиях равен

$$K = \frac{W}{F_k} = \frac{5,28}{17,25} = 0,3.$$

Произведенный расчет показывает, что при сравнительно благоприятных дорожных условиях у автомобиля ЗИЛ-130 на II передаче имеется избыток силы тяги, который может быть реализован путем повышения скоростей движения или же путем перехода на поездную вывозку.

**Пример 52.** Определить дополнительное сопротивление, которое испытывает автомобиль ГАЗ-53 с номинальной нагрузкой при трогании с места, а также сопротивление от воздушной среды после достижения максимальной скорости, зная, что трогание происходит на II передаче, ускорение движения при трогании равно  $0,1 \text{ м/сек}^2$ . Форма и гладкость стенок характеризуется коэффициентом  $C = 0,5$ , плотность воздуха  $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ , скорость движения автомобиля  $v_{\max} = 20 \text{ м/сек}$ .

**Решение.** 1. Коэффициент, учитывающий влияние врачающихся масс автомобиля при  $\sigma = 0,06$  и передаточном отношении коробки передач  $i_k = 3,09$ , будет равен

$$\delta = 1 + \sigma i_k^2 = 1 + 0,06 \cdot 3,09^2 = 1,57.$$

2. Сопротивление от инерции при трогании с места вычисляется по формуле (7):

$$W_j = \delta \frac{P}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = 1,57 \frac{63}{9,81} \cdot 0,1 = 1,0 \text{ кн}.$$

3. Полное сопротивление движению от воздушной среды на основании формулы (6) равно

$$W_b = C \rho S v^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 5 \cdot 20^2 = 1250 \text{ н},$$

где  $S = 0,95 BH = 0,95 \cdot 2,38 \cdot 2,22 = 5 \text{ м}^2$  — лобовая площадь автомобиля;

$B, H$  — ширина и высота автомобиля.

**Ответ.** Дополнительное сопротивление при трогании с места  $W_j = 1,0 \text{ кн}$ , а дополнительное сопротивление от воздушной среды  $W_b = 1,25 \text{ кн}$ .

**Пример 53.** Определить тип прицепного подвижного состава и полезную рейсовую нагрузку для автомобиля ЗИЛ-164, работающего в летний период на гравийной автомобильной лесовозной дороге с коэффициентом сопротивления качению  $f_0 = 0,04$  и руководящим подъемом  $i_p = 0,05$ . Расчетная касательная сила тяги автомобиля ЗИЛ-164 на второй передаче  $F_k = 13,3 \text{ кн}$ .

**Решение.** 1. По технической характеристике автомобиля находим: вес автомобиля  $P = 39,8 \text{ кн}$ ; грузоподъемность  $q_a = 40 \text{ кн}$ .

2. Вес прицепного состава с грузом на основании уравнения тягового баланса будет равен

$$Q_{\text{пр}} = \frac{F_k}{f_0 + i_p} - (P + q_a) = \frac{13,3}{0,04 + 0,05} - (39,8 + 40,0) = 68,0 \text{ кн}.$$

3. Сравнивая полученное значение  $Q_{\text{пр}}$  с техническими характеристиками роспусков, нетрудно убедиться, что этому весу соответствует роспуск марки 1-Р-4, у которого вес без груза  $P_{\text{пр}} = 11,7 \text{ кн}$  и грузоподъемность  $q_{\text{пр}} = 40,0 \text{ кн}$ .

4. Допустимая полезная рейсовая нагрузка по тяговым возможностям автомобиля

$$Q_{\text{пол}}^T = 68,0 - 11,7 + 40,0 = 96,3 \text{ кн}.$$

По грузоподъемности допускаемая погрузка на поезд равна

$$Q_{\text{пол}}^r = q_a + q_{\text{пр}} = 40 + 40 = 80 \text{ кн}.$$

Окончательно принимаем нагрузку  $Q_{\text{пол}} = 80 \text{ кн}$ , что соответствует по объему  $10 \text{ м}^3$  древесины.

**Пример 54.** По условиям трогания с места определить величину полезной рейсовой нагрузки на автомобильный поезд МАЗ-501 + 2-Р-15, если коэффициент основного сопротивления движению  $f_0 = 0,055$ , руководящий подъем  $i_p = 0,07$ , коэффициент учета вращающихся масс  $\delta = 2,5$ , а ускорение движения при трогании  $\frac{dv}{dt} = 0,1 \text{ м/сек}^2$ .

**Решение.** 1. По технической характеристике устанавливаем: вес автомобиля МАЗ-501 без груза  $P_a = 74,5 \text{ кн}$ ; вес роспуска 2-Р-15 без груза  $P_{\text{пр}} = 31,6 \text{ кн}$ .

2. По тяговой характеристике (рис. 2) принимаем расчетную силу тяги  $F_k = 46 \text{ кн}$ .

3. Коэффициент дополнительного сопротивления от инерции

$$w_j = \delta \frac{1}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = 2,5 \frac{1}{9,81} \cdot 0,1 = 0,025.$$

4. Полезная рейсовая нагрузка на основании формулы (14) будет равна

$$Q_{\text{пол}} = \frac{F_p}{f_0 + i_p + w_j} - (P_a + P_{\text{пр}}) = \frac{46}{0,055 + 0,070 + 0,025} - (74,5 + 31,6) = 200 \text{ кн}, \text{ а по объему это соответствует } \approx 25 \text{ м}^3.$$

**Пример 55.** Определить предельную скорость движения груженого автомобильного поезда МАЗ-501 + 2-Р-15 на спуске с уклоном  $i = 6\%$ , если тормозной путь  $S_t = 50 \text{ м}$ , коэффициент основного сопротивления движению  $f_0 = 0,04$ , а время реакции водителя  $t_0 = 2 \text{ сек.}$

**Решение.** 1. Приняв из табл. 1 коэффициент сцепления колес с дорогой  $\varphi = 0,25$  и тормозной вес автомобиля  $P_t = P = 125,6 \text{ кн}$  из приложения I, вычислим коэффициент тормозной силы:

$$b_k = \frac{P_t \varphi}{P + Q} = \frac{125,6 \cdot 0,25}{125,6 + 181,6} = 0,1,$$

где  $Q = 181,6 \text{ кн}$  — вес роспуска с грузом.

2. Далее по формуле (28) найдем искомую скорость  $v_c = 9,81 \cdot 2 (0,04 + 0,1 - 0,06) \left[ \sqrt{1 + \frac{2 \cdot 50}{9,81 \cdot 2 (0,04 + 0,1 - 0,06)}} - 1 \right] = 10,8 \text{ м/сек.}$

**Пример 56.** Автомобиль на прямой передаче должен преодолеть скоростной подъем ( $i_{ck} = 10\%$ ,  $l_{ck} = 100 \text{ м}$ ). Какова должна быть скорость автомобиля перед подъемом ( $v_h$ ), если известно, что максимальный динамический фактор на прямой передаче  $D = 0,1$ , скорость на вершине подъема  $v_k = 5 \text{ м/сек.}$ , а коэффициент основного сопротивления движению  $f_0 = 0,05$ .

**Решение.** В этом случае необходимо использовать формулы неравномерного движения поезда [50]. Применительно к условиям примера расчетная формула имеет вид

$$v_h = \sqrt{v_k^2 - 2l_{ck}g(D - f_0 - i_{ck})}.$$

Подставляя исходные данные, получим

$$v_h = \sqrt{5^2 - 2 \cdot 100 \cdot 9,81 (0,1 - 0,05 - 0,1)} = 11,1 \text{ м/сек.}$$

**Пример 57.** Определить годовой расход горюче-смазочных материалов, необходимый для обеспечения работы 10 автомобилей МАЗ-501 с роспусками 2-Р-15, если годовой грузооборот дороги  $Q_{год} = 120 \text{ тыс. м}^3$ , объем рейсовой нагрузки  $U_p = 20 \text{ м}^3$ , средневзвешенное расстояние вывозки по гравийной дороге  $l_{ср. вз} = 26 \text{ км}$ , число рабочих дней в году  $A = 280$ , из которых 100 дней со средней температурой ниже нуля.

**Решение.** 1. Вычислим годовой пробег автомобилей:

$$L_0 = \frac{2Q_{год} l_{ср. вз}}{U_p} = \frac{2 \cdot 120 000 \cdot 26}{20} = 312 000 \text{ км.}$$

2. При норме  $q_t = 60 \text{ л}$  на 100 км пробега расход топлива равен

$$G = \frac{312 000 \cdot 60}{100} = 187,2 \text{ тыс. л.}$$

3. Надбавка к расходу топлива, учитывающая отрицательные температуры,

$$\Delta G_t = \frac{L_t (q_t + 0,1 q_{\eta})}{100} = \frac{111\,500 (60 + 0,1 \cdot 60)}{100} = 73,5 \text{ тыс. л.}$$

Причем пробег автомобилей при отрицательных температурах и равномерной работе в течение года равен

$$L_r = \frac{200 Q_{\text{год}} l_{\text{ср. вз}}}{AU_p} = \frac{200 \cdot 120\,000 \cdot 26}{280 \cdot 20} = 111\,500 \text{ км.}$$

4. Средняя величина буксируемого автомобилем груза в заданном примере может быть принята равной  $P = 90 \text{ кн}$ , а надбавка, учитывающая буксировку ее, определится из выражения

$$\Delta G_6 = \frac{L_0 \cdot 0,06 q_t \cdot 90}{100 \cdot 10} = \frac{312\,000 \cdot 0,06 \cdot 60 \cdot 90}{100 \cdot 10} = 101 \text{ тыс. л.}$$

5. Общий годовой расход дизельного топлива

$$G_r = G + \Delta G_t + \Delta G_6 = (187,2 + 73,5 + 101) \cdot 10^3 = 361,7 \text{ тыс. л.,}$$

что соответствует по весу 2894 кн.

6. Расход смазочных материалов устанавливается в зависимости от расхода топлива:

автала 5%, т. е.  $0,05 \cdot 2894 = 145 \text{ кн}$ ;

трансмиссионного масла 1,5%, т. е.  $0,015 \cdot 2894 = 43,5 \text{ кн}$ ;  
солидола 1%, т. е.  $0,01 \cdot 2894 = 28,2 \text{ кн}$ .

## 7—6. ЗАДАЧИ

410. Используя характеристики автомобиля МАЗ-200, определить ограничение силы тяги по сцеплению и расчетную минимальную скорость движения при условии, что грунтовая улучшенная дорога находится в хорошем состоянии.

411. Определить полное сопротивление качению автомобиля на горизонтальном участке дороги, если известно, что движение равномерное со скоростью  $v = 6 \text{ м/сек}$ , а мощность, подаваемая на ведущие колеса,  $N = 24 \text{ квт}$ .

412. По тяговой характеристике автомобиля МАЗ-501 определить касательную силу тяги при скорости движения  $v_1 = 3 \text{ м/сек}$ , а также при  $v_2 = 4 \text{ м/сек}$  и  $v_3 = 6 \text{ м/сек}$ .

413. Определить касательную силу тяги автомобиля МАЗ-200 при скорости движения  $v = 3,0 \text{ м/сек}$  и коэффициенте полезного действия трансмиссии  $\eta = 0,8$ .

414. Какую силу по условиям сцепления может реализовать груженый (порожний) автомобиль ЗИЛ-130 на горизонтальном участке пути, если известно, что коэффициент сцепления колес с дорогой  $\varphi = 0,25$ ?

415. Каким коэффициентом сцепления должны характеризоваться дорожные условия, чтобы груженый автомобиль ЗИЛ-164

мог полностью реализовать максимальную силу тяги, развивающую на II передаче?

416. Определить тяговую силу на ведущих колесах автомобиля, движущегося с равномерной скоростью  $v = 8 \text{ м/сек}$  и развивающего мощность  $N_e = 60 \text{ квт}$ , если к.п.д. трансмиссии  $\eta_t = 0,92$ .

417. По тяговой характеристике автомобиля МАЗ-200 установить условия, при которых автомобиль в порожнем состоянии будет пробуксовывать.

418. Определить максимальную скорость движения автомобиля МАЗ-501, если касательная сила тяги на ведущих колесах  $F_k = 26 \text{ кн}$ .

419. Рассчитать мощность, развиваемую двигателем автомобиля ЗИЛ-164 при скорости движения его  $v = 5,6 \text{ м/сек}$ , если коэффициент полезного действия трансмиссии  $\eta_t = 0,85$ , а касательная сила тяги  $F_k = 10 \text{ кн}$ .

420. Определить крюковую силу тяги порожнего автомобиля ЗИЛ-151, принимая во внимание, что касательная сила тяги  $F_k = 18,0 \text{ кн}$ , движение происходит по дороге с уклоном  $i = +1\%$  и коэффициент сопротивления движению  $f_0 = 0,04$ .

421. Автомобиль, вес которого  $Q_{bp} = 120 \text{ кн}$ , с равномерной скоростью движется по горизонтальному участку грунтовой дороги, имеющей коэффициент сопротивления движению  $f_0 = 0,06$ . Какое сопротивление движению испытывает автомобиль?

422. Определить полное сопротивление груженого автомобильного поезда (МАЗ-501 + 2-Р-15) при движении его по гравийной дороге, коэффициент сопротивления на которой  $f_0 = 0,04$ , а уклоны на отдельных ее участках равны 10, 20, 30, 40%.

423. Определить полное сопротивление груженого автомобильного поезда, состоящего из автомобиля ЗИЛ-151 и санного роспуска АОС-6Х, если коэффициенты сопротивления движению автомобиля  $f_0 = 0,04$ , роспуска  $f_0'' = 0,02$ , а уклон дороги  $i_p = 10\%$ .

424. Доказать, что уклон величиной в 1% соответствует коэффициенту сопротивления движению, равному 0,001.

425. Определить величину дополнительного сопротивления движению, которое испытывает груженый автомобиль ЗИЛ-164 с прицепом-роспуском 2-ПР-10 от воздушной среды при движении по дороге со скоростью  $v = 11 \text{ м/сек}$  в безветренную погоду, если коэффициент, учитывающий форму и гладкость автомобиля,  $C = 0,8$ , а плотность воздуха  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ .

426. Автомобиль ЗИЛ-164 со скоростью  $v = 14 \text{ м/сек}$  движется навстречу ветру, имеющему скорость  $v_w = 3 \text{ м/сек}$ . Коэффициент обтекаемости автомобиля  $K = C_p = 0,7$ . Определить сопротивление воздушной среды.

427. Вычислить коэффициент сопротивления движению от воздушной среды, если известно, что навстречу порожнему

автомобилю МАЗ-200 под углом  $\sigma = 0,5$  рад дует косой ветер, скорость ветра  $v_b = 6$  м/сек, а автомобиля  $v = 12,5$  м/сек, коэффициент обтекаемости автомобиля  $K = 0,75$ .

428. Груженый автомобиль МАЗ-501 с прицепом-роллспуском 2-Р-15 со скоростью  $v = 10$  м/сек движется в направлении ЮВ  $60^\circ$ . Ветер со скоростью 5 м/сек дует в направлении ЮВ  $20^\circ$ . Определить влияние ветра на условия движения автопоезда.

429. Установить, при каком значении уклона дороги полное сопротивление автомобильного поезда при равномерном его движении на спуске равняется 0.

430. Определить удерживающую силу, которую приходится прикладывать автомобилю-тягачу при движении поезда весом  $Q_{bp} = 480$  кн на спуске с уклоном  $i = 50\%$  и коэффициентом сопротивления  $f_0 = 0,04$ .

431. Определить дополнительное сопротивление при трогании с места автомобильного поезда весом  $Q_{bp} = 280$  кн, если известно, что по истечении 3 сек с момента начала движения скорость поезда достигла  $v = 1,8$  м/сек, а коэффициент, учитывающий влияние вращающихся масс,  $\delta = 2,0$ .

432. Определить величину нагрузки на автомобиль МАЗ-200, исходя из условия, что полное сопротивление движению на прямом горизонтальном участке гравийной дороги составляет 4,4 кн.

433. В период испытаний было установлено, что при равномерном движении автомобиля МАЗ-200 весом  $P + Q = 130$  кн на горизонтальном участке дороги сопротивление качению колес  $W_f = 5850$  н.

Определить коэффициент сопротивления качению и предполагаемый тип покрытия на дороге.

434. Автомобиль ЗИЛ-130 с нагрузкой  $Q = 55$  кн движется по горизонтальному участку дороги, коэффициент сопротивления качению на которой  $f_0 = 0,03$ .

Чему равно полное сопротивление качению автомобиля в указанных условиях?

На сколько процентов изменится сопротивление движению при переходе автомобиля на смежный участок, подъем которого равен 2%?

435. Определить полное сопротивление движению автомобиля ЗИЛ-157 весом  $P + Q = 100,0$  кн при различных условиях, если скорость движения  $v = 13,9$  м/сек, коэффициент сопротивления движению  $f_0 = 0,04$ , уклон дороги  $i = 6\%$ , лобовая проекция автомобиля  $S = 4,5$  м<sup>2</sup>, ускорение при трогании  $j = 0,8$  м/сек<sup>2</sup> и коэффициент влияния вращающихся масс  $\delta = 2,5$ .

436. Определить тормозной путь автомобиля на горизонтальном участке гравийной дороги, если известно, что тормоза имеются на всех колесах, скорость движения в начале тормо-

жения  $v = 11$  м/сек, а коэффициент сцепления колес с дорогой  $\varphi = 0,25$ .

437. Определить тормозной путь автомобильного поезда (МАЗ-501 + 2-Р-15) с номинальной нагрузкой, принимая расчетную скорость движения  $v = 13$  м/сек, максимальный уклон спуска  $i = 40\%$ , коэффициент основного сопротивления движению  $f_0 = 0,045$  и коэффициент сцепления  $\varphi = 0,28$ .

438. Определить полезную рейсовую нагрузку автомобиля ЗИЛ-164 с прицепом-роспуском 1-Р-8 для условий: расчетная сила тяги  $F = 15$  кн, коэффициент сопротивления движению  $f_0 = 0,04$ , руководящий уклон  $i_p = 5\%$ , груз — хлысты длиной  $l_{ск} = 28$  м.

439. Установить, какой максимальный подъем может быть преодолен автомобилем МАЗ-501 с прицепом-роспуском 2-Р-15 и полной нагрузкой при условии, что коэффициент сопротивления движению на дороге  $f_0 = 0,06$ , а автомобиль движется с постоянной скоростью на второй передаче.

440. Построить график зависимости рейсовой нагрузки от величины руководящего уклона для автопоезда (ЗИЛ-157 + 2-ПР-10) при условии, что расчетная сила тяги  $F_p = 18$  кн и коэффициент основного сопротивления  $f_0 = 0,045$ .

441. Определить, какой величины скоростной подъем может быть преодолен автомобильным поездом (ЗИЛ-151 + 1-Р-8) с номинальной нагрузкой, если скорость движения в начале подъема  $v_n = 8$  м/сек, в конце  $v_k = 3$  м/сек, коэффициент сопротивления движению  $f_0 = 0,05$ , а длина скоростного участка  $l_{ск} = 50$  м.

442. Вычисленная по условиям равномерного движения на руководящем уклоне нагрузка на автомобиль МАЗ-200 с прицепом-роспуском 2-Р-15 равна 180 кн. На сколько процентов уменьшится расчетная нагрузка, если общий коэффициент сопротивления возрастет на 0,03, а другие исходные данные останутся прежними?

443. Определить величину рейсовой нагрузки на автомобиль ЗИЛ-164, приняв мощность двигателя  $N = 72$  квт и к.п.д. трансмиссии  $\eta_r = 0,75$ , расчетную скорость движения  $v = 6$  м/сек и руководящий подъем  $i_p = 65\%$ . Дорога грунтовая в хорошем состоянии, коэффициент основного сопротивления движению  $f_0 = 0,045$ .

444. Определить допустимую длину скоростного уклона  $i_{ск} = 10\%$  на автомобильной лесовозной дороге с железобетонным покрытием ( $f_0 = 0,03$ ), принимая скорость движения автомобиля в начале подъема  $v_n = 10$  м/сек, в конце подъема  $v_k = 2$  м/сек, а расчетный динамический фактор автомобиля  $D = 0,10$ .

445. Определить, какую скорость должен иметь груженый одиночный автомобиль ЗИЛ-164 в начале скоростного подъема

( $i_{ck} = 150^{\circ}/\text{об}$ ;  $l_{ck} = 100 \text{ м}$ ), для того чтобы к концу подъема он мог сохранить скорость  $v = 2,5 \text{ м/сек}$ . Известно, что дорога грунтовая, коэффициент основного сопротивления движению  $f_0 = 0,08$ , а сила тяги автомобиля  $F_k = 15 \text{ кн}$ .

446. Сколько рейсов в смену может совершить водитель автомобиля МАЗ-501, если расстояние вывозки леса  $L = 21 \text{ км}$ , средняя скорость движения с грузом  $v_{rp} = 3,5 \text{ м/сек}$ , без груза  $v_{por} = 8 \text{ м/сек}$ , простоя на погружочном пункте  $t_{n.p} = 30 \text{ мин}$ , на нижнем складе  $t_{n.c} = 16 \text{ мин}$ , на разъездах  $t_{raz} = 30 \text{ мин}$ ?

447. Среднетехническая скорость движения автомобиля МАЗ-200 на дороге  $v_{ср.техн} = 5,55 \text{ м/сек}$ . Технологические простоя за каждый рейс составляют 45 мин. На какое расстояние можно планировать второй рейс, если при первом рейсе расстояние вывозки было равно 60 км, а время смены  $T = 7 \text{ часам}$ ?

448. При среднем расстоянии вывозки  $l_{cp} = 35 \text{ км}$  водитель лесовозного автомобиля в смену делает три рейса. Какой среднетехнической скорости он достигнет, если известно, что подготовительно-заключительное время смены, а также простоя под погрузкой и разгрузкой за каждый рейс были равны 30 мин?

449. Определить производительность лесовозных автомобилей МАЗ-501, МАЗ-200, ЗИЛ-164, ЗИЛ-151, ЗИЛ-157 с соответствующими им прицепами-роспусками на вывозке леса в хлыстах при условии, что коэффициент использования грузоподъемности прицепного подвижного состава равен 1,0, а число рейсов в смену равно 3.

450. Вычислить среднюю производительность автопоезда (ЗИЛ-164 + 1-Р-4) на вывозке леса, если известно, что среднее расстояние вывозки  $l = 26 \text{ км}$ ; среднетехническая скорость движения  $v_{ср.техн} = 4,3 \text{ м/сек}$ ; простоя под погрузкой и разгрузкой  $t_{np} = 30 \text{ мин}$ , а полезная рейсовая нагрузка  $Q = 80 \text{ кн}$ .

451. Определить максимальную скорость движения автомобиля на подъеме  $i = 6\%$ , если общий вес его равен 80 кн, мощность двигателя  $N = 68 \text{ квт}$ , коэффициент полезного действия трансмиссии  $\eta = 0,85$ , а коэффициент основного сопротивления движению  $f_0 = 0,04$ .

452. Используя метод равновесных скоростей, определить время движения груженого автомобиля МАЗ-501 с прицепом-роспуском 2-Р-15 на участке дороги с грунтовитумным покрытием ( $f_0 = 0,03$ ), продольный профиль которого показан на рис. 7—12.

453. Чему равна среднетехническая скорость движения, если известно, что средняя скорость в грузовом направлении  $v_{rp} = 4,5 \text{ м/сек}$ , а в порожняковом —  $v_{por} = 9,0 \text{ м/сек}$ ?

454. Определить среднюю эксплуатационную скорость движения лесовозного автомобиля, перевозящего древесину на расстояние  $l = 40 \text{ км}$ , если принять среднетехническую скорость

движения  $v_{\text{ср.техн}} = 5,5 \text{ м/сек}$  и простой на конечных пунктах  $t_{\text{пр}} = 40 \text{ мин.}$

455. Определить количество груженых санных комплектов (2-ПО-20), которые может перевозить автомобиль ЗИЛ-151 по одноколейной ледяной дороге при коэффициенте основного сопротивления движению  $f_0 = 0,015$ , руководящем подъеме  $i_p = 0,01$  и при расчетной силе тяги на крюке  $F_{\text{кр}} = 27 \text{ кн.}$

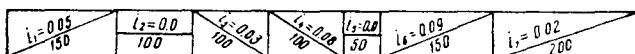


Рис. 7—12. Схема участка продольного профиля

456. Для перевозки древесины из лесосеки на нижний склад могут быть использованы автомобиль МАЗ-200 с роспуском 2-Р-15 и автомобиль ЗИЛ-164 с роспуском 2-Р-8. Расстояние перевозки 25 км, рейсовые нагрузки соответственно  $Q_1 = 180 \text{ кн}$  и  $Q_2 = 120 \text{ кн}$ , а стоимость поездо-смен  $D_1 = 18$  и  $D_2 = 15 \text{ руб.}$  В смену автомобиль может сделать три рейса. Определить, какой из этих автомобилей обеспечит меньшую стоимость единицы транспортной работы.

457. Из двух заданных типов автомобилей ЗИЛ-157 + 2-Р-8 и МАЗ-501 + 2-Р-15 выбрать для эксплуатации тот, который дает наибольшую сменную выработку на единицу мощности двигателя.

Исходные данные для расчета:

Наименование расчетных данных	ЗИЛ-157 + + 2-Р-8	МАЗ-501 + + 2-Р-15
Рейсовая нагрузка, кн	120	160
Среднетехническая скорость движения, м/сек . . . . .	5	4
Простой под погрузкой и разгрузкой, мин	35	45
Расстояние вывозки, км . . . . .	10	10

458. Определить месячный (на июль) расход топлива на автомобиль ЗИЛ-164, работающий на вывозке короткомерных сортиментов. Ежедневный пробег автомобиля составляет 120 км.

459. Рассчитать потребное количество топлива, необходимое для обеспечения работы 5 автомобилей ЗИЛ-151 по перевозке дров в течение 100 рабочих дней. Условия работы: среднесу-

точная температура воздуха  $t = -15^\circ\text{C}$ , дорога грунтовая, расстояние вывозки  $l = 10 \text{ км}$ , продолжительность одного рейса  $t_p = 105 \text{ мин.}$

460. Автомобиль МАЗ-200 с прицепом-роспуском 2-Р-15 используется для вывозки леса в хлыстах. Коэффициент использования грузоподъемности  $K = 1,0$ . Вывозка производится по подъездным и магистральным лесовозным дорогам. Длина используемой гравийной магистрали  $22 \text{ км}$  и подъездных путей  $8 \text{ км}$ . Среднее число рейсов в смену — два. Количество рабочих дней в году 300, из которых 80 с отрицательной температурой. Рассчитать годовой расход топлива на один автомобиль.

461. Определить недельный расход топлива на самосвал ЗИЛ-585, который используется для перевозки гравия на расстояние  $15 \text{ км}$ . Производительность самосвала  $10 \text{ м}^3/\text{смену}$ . В течение недели предусматривается два технических осмотра автомобиля.

462. Определить суточный расход топлива на автомобиль МАЗ-501, работающий три смены в цепке с роспуском 2-Р-15, коэффициент использования грузоподъемности прицепа 0,8, сменный пробег автомобиля  $100 \text{ км}$ , причем 80% пути автомобиля движется по дороге с железобетонным покрытием.

463. Какой пробег может совершить автомобиль ЗИЛ-164 с нагрузкой  $40 \text{ кн}$ , не пополняя топливного бака, если известно, что на каждые  $100 \text{ км}$  пути по асфальтобетонной дороге расходуется в среднем  $33 \text{ дм}^3$  бензина?

464. Определить необходимое для нормальной эксплуатации автомобилей ЗИЛ-151 количество картерного (автола) и трансмиссионного (нигрола) масла, а также консистентных смазок (солидола), если известно, что годовой расход топлива составляет  $100 \text{ Мг.}$ .

465. Определить расход топлива на участке гравийной ( $f_0 = 0,04$ ) лесовозной дороги, представленной продольным профилем на рис. 7—12, если удельный расход топлива на I квт мощности двигателя за 1 сек  $z = 92 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/\text{квт}\cdot\text{сек}$ , движение автомобильного поезда ЗИЛ-130 + 1-Р-8 слева направо, а его общий вес  $Q_{бп} = 180 \text{ кн}$ .

466. Чему будет равен расход топлива при движении автомобиля справа налево (рис. 7—12), если все исходные данные для расчета принять из предыдущей задачи?

467. Построить график ежемесячных расходов горючесмазочных материалов, необходимых для обеспечения бесперебойной работы автомобиля ЗИЛ-164 с прицепом-роспуском 2-Р-8. Исходные данные: рейсовая нагрузка автопоезда при одинаковом коэффициенте использования грузоподъемности автомобиля и прицепа составляет  $110 \text{ кн}$ , сменный пробег автомобиля  $125 \text{ км}$ , из них  $5 \text{ км}$  — нулевой пробег, работа двухсменная.

468. Составить график организации движения лесовозных

автомобилей, используя следующие расчетные данные: число погрузочных пунктов 4 ( $\text{№} 1$  расположен на 18-м км магистрали;  $\text{№} 2$  — на 25-м км;  $\text{№} 3$  — на 5-м и  $\text{№} 4$  — на 7-м км ветки, примыкающей к магистрали в точке ПК 155). Количество линейных автомобилей 9, число рейсов в смену 3, простояи автомобилей под погрузкой  $t_{\text{п.п}} = 30 \text{ мин}$ , на нижнем складе  $t_{\text{н.с}} = 15 \text{ мин}$ . Скорость движения без груза на 30% выше скорости с грузом, связь телефонная, работа в две смены, начало первой смены в 7 часов.

469. Определить годовой износ гравийного покрытия автомобильной лесовозной дороги, грузооборот которой  $Q = 200 \text{ тыс. м}^3/\text{год}$ , а в качестве подвижного состава используются автомобили МАЗ-501 с роспусками 2-Р-15.

470. Определить срок службы между капитальными ремонтами грунтового покрытия, укрепленного битумом, если его работоспособность  $B = 8000 \text{ Мн}$ , среднесуточная интенсивность движения составляет  $N = 50$  автомобилей, средний вес автомобилей  $Q_{\text{бр}} = 160 \text{ кн}$ , а продолжительность эксплуатации покрытия в году  $n = 250$  дней.

---

## ГЛАВА ВОСЬМАЯ

### МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ СИ И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ АВТОМОБИЛЬНОГО ЛЕСОТРАНСПОРТА

Международная система единиц СИ, согласно ГОСТ 9867—61, с 1/1 1963 г. применяется в СССР как предпочтительная во всех областях науки, техники и народного хозяйства. В качестве основных единиц в этой системе являются метр, килограмм, секунда, градус Кельвина, свеча.

Определение этих единиц, согласно решению XI Генеральной конференции по мерам и весам, принимается следующим.

*Метр* — длина, равная 1650763,73 длины волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями  $2p_{10}$  и  $5d_5$  атома криптона 86.

*Килограмм* — единица массы — представлен массой международного прототипа килограмма.

*Секунда* —  $1/31556925,9747$  часть тропического года для 1900 года января 0 в 12 часов эфемеридного времени.<sup>1</sup>

*Ампер* — сила неизменяющегося тока, который, проходя по двум прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызвал бы между этими проводниками силу, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  единиц силы Международной системы на каждый метр длины.

*Градус Кельвина* — единица измерения температуры по термодинамической температурной шкале, в которой для температуры тройной точки воды установлено значение  $273,16^\circ\text{K}$ .

*Свеча* — единица силы света, значение которой принимается таким, чтобы яркость полного излучения при температуре затвердевания платины была равна 60 *св* на  $1\text{ см}^2$ .

<sup>1</sup> Эфемеридным временем называется равномерно текущее время, входящее в уравнения динамики небесных тел.

К дополнительным единицам системы СИ относятся радиан — единица плоского угла — и стерадиан — единица телесного угла.

*Радиан* — угол между двумя радиусами круга, вырезающий по окружности дугу, длина которой равна радиусу.

*Стерадиан* — телесный угол, вершина которого расположена в центре сферы и который вырезает на поверхности площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Международная система единиц связывает воедино все механические, тепловые, электрические, магнитные, акустические и световые величины. Полное внедрение международной системы единиц в теорию и практику позволит отказаться от множества существующих систем метрических и неметрических единиц измерения.

Применение системы единиц СИ является весьма удобным. Множество формул преобразования в новую систему получает более строгую форму. Ликвидируется целый ряд коэффициентов, возникших в результате приведения входящих в формулу величин к единой системе измерений.

Рассмотрим более подробно основные единицы измерения системы СИ и те особенности и изменения, которые необходимо учитывать при решении различных задач лесотранспорта.

## 8—1. ЕДИНИЦЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ, ИХ ВЕЛИЧИНА И РАЗМЕРНОСТЬ

**1. Длина.** Как отмечалось выше, основной единицей длины является метр. Однако в силу большого разнообразия линейных величин, которыми приходится пользоваться в физике, механике и технике, эта единица часто приводит к большим цифровым выражениям, затрудняющим теоретические исследования, инженерные расчеты и практическую работу. В связи с этим, кроме основной единицы длины (метра), вводятся кратные и долевые (внесистемные) единицы длины. Странятся они, как известно, по принципу десятичного подразделения. Название этих единиц образуется от названия основной единицы при помощи особых приставок, которые отвечают названиям чисел, кратных десяти, взятым из греческого или латинского языка.

Единицы длины, их размер и обозначения приведены в табл. 8—1.

**2. Площадь.** Единица площади  $S$  определится на основании формулы площади квадрата

$$S = a^2, \quad (8-1)$$

где  $a$  — длина стороны квадрата.

Подставляя в формулу (1)  $a = 1\text{ м}$ , получим

$$S = 1\text{ м}^2.$$

Таблица 8—1

Название единиц длины	Размер по отношению к ос- новной	Сокращенные обозначения	
		русские	латинские
Тераметр . . . . .	$10^{12}$	Тм	Tm
Гигаметр . . . . .	$10^9$	Гм	Gm
Мегаметр . . . . .	$10^6$	Mм	Mm
Километр . . . . .	$10^3$	км	km
Гектометр . . . . .	$10^2$	гм	hm
Декаметр . . . . .	$10^1$	дам	dam
Метр . . . . .	1	м	m
Дециметр . . . . .	$10^{-1}$	дм	dm
Сантиметр . . . . .	$10^{-2}$	см	cm
Миллиметр . . . . .	$10^{-3}$	мм	mm
Микрометр . . . . .	$10^{-6}$	мкм	μm
Нанометр . . . . .	$10^{-9}$	нм	nm
Пикометр . . . . .	$10^{-12}$	пм	pm
Фемтометр . . . . .	$10^{-15}$	фм	fm
Атометр . . . . .	$10^{-18}$	ам	am

Таким образом, основной единицей площади является квадратный метр.

Кратные и долевые единицы площади образуются на основании кратных и долевых единиц длины. Наиболее часто встречающиеся единицы площади приведены в табл. 8—2.

Таблица 8—2

Наименование единиц площади	Размер по отношению к одному квадратному метру	Сокращенные обозначения	
		русские	латинские
Квадратный километр . . .	$10^6$	км <sup>2</sup>	km <sup>2</sup>
» гектометр . . .	$10^4$	гм <sup>2</sup>	hm <sup>2</sup>
» декаметр . . .	$10^2$	дам <sup>2</sup>	dam <sup>2</sup>
» метр . . .	1	м <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>
» дециметр . . .	$10^{-2}$	дм <sup>2</sup>	dm <sup>2</sup>
» сантиметр . . .	$10^{-4}$	см <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>
» миллиметр . . .	$10^{-6}$	мм <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>

Наряду с этим допускается применение и таких внесистемных единиц площади, как ар и гектар. Значение этих единиц следующее:

$$1 \text{ ар (a)} = 100 \text{ м}^2;$$

$$1 \text{ гектар (га)} = 10000 \text{ м}^2.$$

В лесной промышленности и лесном хозяйстве в настоящее время площадь чаще всего измеряют в гектарах. Эту единицу измерения площади как внесистемную можно применять и в будущем.

Однако ее не рекомендуется применять в сложной размерности, так как это нарушает стройность построения расчетных формул. Так, запас древесины на единице площади желательно выражать в  $\text{м}^3/\text{м}^2$ , а не в  $\text{м}^3/\text{га}$ .

Эта необходимость вытекает из правила, которое требует, чтобы знаменатель размерности всегда был представлен основными единицами. Числитель же может выражаться кратными и долевыми единицами.

**3. Объем.** Для определения единицы объема воспользуемся формулой куба

$$V = a^3, \quad (8-2)$$

где  $a$  — длина ребра куба.

Очевидно, что, принимая  $a = 1 \text{ м}$ , получим

$$V = 1 \text{ м}^3.$$

Эта единица называется *кубическим метром*.

Для определения объемов могут применяться также и другие единицы, являющиеся кратными и долевыми по отношению к кубическому метру. Некоторые важнейшие из них приведены в табл. 8—3.

Таблица 8—3

Наименование единиц объема	Размер по отношению к одному куб. метру	Сокращенные обозначения	
		русские	латинские
Кубический километр . . .	$10^9$	$км^3$	$km^3$
» гектометр . . .	$10^6$	$гм^3$	$hm^3$
» декаметр . . .	$10^3$	$дам^3$	$dam^3$
» метр . . . .	1	$м^3$	$m^3$
» дециметр . . .	$10^{-3}$	$дм^3$	$dm^3$
» сантиметр . . .	$10^{-6}$	$см^3$	$cm^3$
» миллиметр . . .	$10^{-9}$	$мм^3$	$mm^3$

В качестве внесистемной единицы объема допускается использование на практике литра. Причем известно, что 1 литр ( $l$ ) =  $1,000028 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ .

**4. Масса.** Кроме основной единицы массы (килограмма), практическое применение находят также единицы, являющиеся кратными и долевыми по отношению к основной.

Важнейшие единицы массы, их размер и обозначение содержатся в табл. 8—4.

Т а б л и ц а 8—4

Наименование единиц массы	Размер по отношению к одному килограмму	Сокращенные обозначения	
		русские	латинские
Тераграмм . . . . .	$10^9$	$Tg$	$Tg$
Гигаграмм . . . . .	$10^6$	$Gg$	$Gg$
Мегаграмм . . . . .	$10^3$	$Mg$	$Mg$
Килограмм . . . . .	1	$kg$	$kg$
Грамм . . . . .	$10^{-3}$	$g$	$g$
Миллиграмм . . . . .	$10^{-6}$	$mg$	$mg$
Микрограмм . . . . .	$10^{-9}$	$\mu g$	$\mu g$

Распространенные на практике единицы массы — тонна и центнер — допускается применять и в будущем как внесистемные. Их значения следующие:

$$1 \text{ тонна (т)} = 1000 \text{ кг};$$

$$1 \text{ центнер (ц)} = 100 \text{ кг}.$$

**5. Время.** За единицу времени в системе СИ принята секунда (сек,  $s$ ).

Внесистемными единицами времени являются: минута, час, сутки, год. Размер этих единиц по отношению к основной единице (сек) следующий:

$$1 \text{ минута} = 60 \text{ сек}; \quad 1 \text{ сек} = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ мин};$$

$$1 \text{ час} = 3600 \text{ сек}; \quad 1 \text{ сек} = 2,88 \cdot 10^{-4} \text{ час};$$

$$1 \text{ сутки} = 86\,400 \text{ сек}; \quad 1 \text{ сек} = 1,16 \cdot 10^{-5} \text{ сут};$$

$$1 \text{ год} = 3,16 \cdot 10^7 \text{ сек}; \quad 1 \text{ сек} = 3,16 \cdot 10^{-8} \text{ год}.$$

**6. Скорость.** За единицу скорости в системе СИ принята скорость такого равномерного движения, при котором за одну секунду тело проходит путь, равный одному метру.

Определяется единица скорости на основании уравнения равномерного движения

$$v = \frac{s}{t}, \quad (8-3)$$

где  $s$  — путь, пройденный телом при равномерном движении за время  $t$ .

Положив  $s = 1$  м и  $t = 1$  сек, получим

$$v = \frac{1 \text{ м}}{1 \text{ сек}} = 1 \text{ м/сек.}$$

Угловая скорость представляет собою угол в радианах, на который поворачивается радиус-вектор точки тела за единицу времени (секунду).

За единицу угловой скорости принимается угловая скорость такого равномерного движения точки по окружности, при котором радиус-вектор этой точки за 1 сек описывает центральный угол, равный 1 радиану.

7. Ускорение. Единица ускорения определяется из выражения

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (8-4)$$

где  $\Delta v$  — изменение скорости равнопеременного движения за время  $\Delta t$ .

Принимая  $\Delta v = 1$  м/сек и  $\Delta t = 1$  сек и подставляя в формулу (4), получим

$$a = \frac{1 \text{ м/сек}}{1 \text{ сек}} = 1 \text{ м/сек}^2.$$

Отсюда вывод: за единицу ускорения в системе СИ принимается ускорение такого равнопеременного движения, при котором скорость за 1 сек изменяется на 1 м/сек.

8. Сила. Для определения единицы силы воспользуемся формулой второго закона Ньютона:

$$F = ma, \quad (8-5)$$

где  $m$  — масса тела;

$a$  — ускорение, сообщенное этому телу силой.

Принимая  $m = 1$  кг и  $a = 1$  м/сек<sup>2</sup> и подставляя в выражение (5), получим

$$F = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/сек}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/сек}^2.$$

Эта единица называется ньютоном (н) и определяется как сила, которая массе в 1 кг сообщает ускорение, равное 1 м/сек<sup>2</sup>.

9. Напряжение (удельное давление). Для определения единицы удельного давления возьмем формулу

$$P = \frac{F}{S}, \quad (8-6)$$

где  $F$  — сила, нормальная к поверхности и равномерно распределенная по площади  $S$ .

При  $F = 1 \text{ н}$ ,  $S = 1 \text{ м}^2$  будем иметь

$$P = \frac{1 \text{ н}}{1 \text{ м}^2} = 1 \text{ н/м}^2.$$

*Ньютона на метр квадратный — равномерно распределенное давление, при котором на  $1 \text{ м}^2$  действует нормально к поверхности сила, равная 1 н.*

**10. Плотность.** В системе СИ за единицу плотности принята плотность такого однородного вещества, в объеме  $1 \text{ м}^3$  которого содержится масса, равная 1 кг.

Плотность выражается формулой

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (8-7)$$

При  $m = 1 \text{ кг}$  и  $V = 1 \text{ м}^3$  получим

$$\rho = \frac{1 \text{ кг}}{1 \text{ м}^3} = 1 \text{ кг/м}^3.$$

**11. Удельный вес.** Для определения удельного веса используется формула

$$\gamma = \frac{P}{V}, \quad (8-8)$$

где  $P$  — вес однородного тела;

$V$  — объем тела.

Принимая  $P = 1 \text{ н}$  и  $V = 1 \text{ м}^3$ , получим единицу удельного веса

$$\gamma = \frac{1 \text{ н}}{1 \text{ м}^3} = 1 \text{ н/м}^3.$$

Очевидно, что за единицу удельного веса принимается вес такого однородного вещества,  $1 \text{ м}^3$  которого имеет вес 1 н.

**12. Удельный объем.** Удельный объем представляет собой объем, который занимает единица массы однородного вещества. Определяется удельный объем по формуле

$$V_0 = \frac{V}{m}, \quad (8-9)$$

где  $V$  — объем, занимаемый массой  $m$  однородного вещества.

Подставляя в формулу (9)  $V = 1 \text{ м}^3$  и  $m = 1 \text{ кг}$ , получим единицу удельного объема

$$V_0 = \frac{1 \text{ м}^3}{1 \text{ кг}} = 1 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

За единицу удельного объема в системе СИ принимается удельный объем такого однородного вещества, 1 кг массы которого занимает объем  $1 \text{ м}^3$ .

**13. Импульс силы.** Определяется импульс силы по формуле

$$p = Ft, \quad (8-10)$$

где  $F$  — сила, действующая на тело в течение времени  $t$ .

Единица импульса силы получается из формулы (10), если положить  $F = 1 \text{ н}$  и  $t = 1 \text{ сек}$ , т. е.

$$p = 1 \text{ н} \cdot 1 \text{ сек} = 1 \text{ н} \cdot \text{сек.}$$

За единицу импульса силы принимается импульс, возникший в результате действия постоянной силы, равной 1 н, в течение 1 сек.

14. Количество движения. Количество движения вычисляется по формуле

$$K = mv, \quad (8-11)$$

где  $m$  — масса тела;

$v$  — скорость движения.

Принимая  $m = 1 \text{ кг}$  и  $v = 1 \text{ м/сек}$  и подставляя в формулу (11), получим размерность единицы количества движения

$$K = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м/сек} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м/сек.}$$

Отсюда имеем, что под единицей количества движения следует понимать такое его количество, когда масса в 1 кг равномерно движется со скоростью 1 м/сек.

15. Работа (энергия). Работа как произведение силы на путь определяется по формуле

$$A = Fs \cos \alpha, \quad (8-12)$$

где  $F$  — постоянная сила, действующая на тело;

$s$  — путь, пройденный телом под действием этой силы;

$\alpha$  — угол между направлениями силы и движения.

Принимая  $F = 1 \text{ н}$ ,  $s = 1 \text{ м}$  и  $\alpha = 0 \text{ рад}$ , получим

$$A = 1 \text{ н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ н} \cdot \text{м.}$$

Эта единица называется джоулем.

Джоуль — работа, которую совершает постоянная сила, равная 1 н, на пути в 1 м, пройденном телом под действием этой силы по направлению, совпадающему с направлением силы.

Кинетическая энергия поступательного движения тела определяется по формуле

$$T = \frac{mv^2}{2}, \quad (8-13)$$

а потенциальная

$$P = mgH, \quad (8-14)$$

где  $m$  — масса тела;

$v$  — скорость движения;

$g$  — ускорение свободного падения;

$H$  — высота тела над поверхностью земли.

Принимая входящие в эти формулы (13)–(14) значения равными единице, нетрудно убедиться, что оба вида энергии имеют такую же размерность, как и работа, т. е. выражаются в джоулях.

**16. Мощность.** Для вычисления мощности используется формула

$$N = \frac{A}{t}, \quad (8-15)$$

где  $A$  — работа, совершенная за время  $t$ .

Если принять  $A = 1$  дж, а  $t = 1$  сек, то получим

$$N = \frac{1 \text{ дж}}{1 \text{ сек}} = 1 \text{ дж/сек} = 1 \text{ вт.}$$

Эта единица носит название *ватт*. *Ватт — мощность, при которой за 1 сек совершается работа, равная 1 джоулю.*

**17. Момент силы.** Определяется момент как произведение силы на плечо

$$M = Fr, \quad (8-16)$$

где  $F$  — сила;

$r$  — расстояние от оси вращения до направления силы.

Принимая  $F = 1$  н и  $r = 1$  м, получим

$$M = 1 \text{ н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ н} \cdot \text{м.}$$

За единицу момента силы принимается момент, создаваемый силой в 1 н, имеющей плечо, равное 1 м.

**18. Момент инерции.** Определяющим уравнением единицы момента инерции является

$$I = mr^2, \quad (8-17)$$

где  $m$  — масса материальной точки;

$r$  — расстояние от этой точки до центра ее вращения.

При  $m = 1$  кг и  $r = 1$  м получим

$$I = 1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м}^2 = 1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

За единицу момента инерции принимается момент инерции, которым обладает материальная точка массой в 1 кг, находящаяся на расстоянии 1 м от центра ее вращения.

**19. Частота.** Частота периодического процесса обратно пропорциональна периоду:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (8-18)$$

где  $T$  — период — время, в течение которого совершается один цикл периодического процесса.

Измеряется частота в герцах, размерность ее  $\text{сек}^{-1}$ .

20. Угловое ускорение. Выражается угловое ускорение по формуле

$$E = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \quad (8-19)$$

где  $\Delta\omega$  — изменение угловой скорости равнопеременного движения точки по окружности за время  $\Delta t$ .

Проставив в формулу (19)  $\Delta\omega = 1$  рад/сек и  $\Delta t = 1$  сек, получим

$$E = \frac{1 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}}{1 \text{ сек}} = 1 \text{ рад/сек}^2.$$

За единицу углового ускорения принимается угловое ускорение такого равнопеременного движения точки по окружности, при котором угловая скорость изменяется на 1 рад/сек за 1 сек.

Аналогичным путем можно получить и все остальные единицы измерения механических величин, а также единицы измерения для акустических, электрических и других величин.

## 8—2. СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ЕДИНИЦАМИ ИЗМЕРЕНИЯ РАЗНЫХ СИСТЕМ

До настоящего времени Государственными стандартами СССР предусматривалось применение 11 различных систем единиц измерения. С переходом к Международной системе измерений и повсеместным ее внедрением отпадает надобность в применении множества существующих систем, метрических и неметрических, а также внесистемных единиц. Внедрение во все области науки и техники универсальной системы единиц измерений даст возможность упростить многие формулы, облегчить анализ результатов экспериментальных исследований и технических расчетов, позволит еще более успешно использовать счетные машины при решении инженерных задач.

Переход от множества единиц измерений к единой системе является задачей трудоемкой. Он потребует переиздания многих справочников и книг, изменения шкал многих приборов, пересчета норм, технических условий и т. д.

В связи с этим ГОСТ 7664—61 предусматривает переход к системе СИ производить постепенно.

Для правильного перевода формул из других систем в систему СИ, пересчета нормативных данных и успешного использования богатой научной и технической литературы необходимо помнить соотношение между однородными единицами различных систем.

Рассмотрим встречающиеся в курсе «Сухопутный транспорт леса» важнейшие единицы измерения, а также их размерность и соотношения, представленные в табл. 5 — 10 этой главы.

## 1. Единицы массы

Таблица 8—5

Системы	Наименование единиц	Размерность
СИ	килограмм ( $kg$ , $kg$ )	$kg$
СГС	грамм ( $g$ , $g$ )	$g$
МКГСС	килограмм-сила-секунда в квадрате на метр ( $m \cdot e \cdot m$ )	$m^{-1} \cdot kg \cdot sek^2$
МКС	килограмм ( $kg$ , $kg$ )	$kg$
Внесистемная	тонна ( $t$ , $t$ )	—

$1 g = 10^{-3} kg$ ;  $1 kg = 10^3 g$ ;  
 $1 m \cdot e \cdot m = 9,80665 kg$ ;  $1 kg = 10^{-3} m$ ;  
 $1 m = 10^3 kg$ ;  $1 kg = 0,102 m \cdot e \cdot m$ .

## 2. Единицы силы

Таблица 8—6

Системы	Наименование единиц	Размерность
СИ	ニュ顿 ( $N$ , $N$ )	$m \cdot kg \cdot sek^{-2}$
СГС	дина ( $dn$ , $dn$ )	$cm \cdot g \cdot sek^{-2}$
МКГСС	килограмм ( $kg$ )	$kg$
МКС	ニュ顿 ( $N$ , $N$ )	$m \cdot kg \cdot sek^{-2}$
Внесистемная	тонна-сила ( $ts$ , $ts$ )	—

$$\begin{aligned}
 1 \text{ кгс (МКГСС)} &= 9,80665 \text{ н}; & 1 \text{ н} &= 0,10198 \text{ кгс}, \\
 1 \text{ дн (СГС)} &= 0,00001 \text{ н}; & 1 \text{ н} &= 100000 \text{ дн}; \\
 1 \text{ тс} &= 9,80665 \cdot 10^3 \text{ н}; & 1 \text{ н} &= 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ тс}.
 \end{aligned}$$

## 3. Единицы работы и энергии

Таблица 8—7

Системы	Наименование единиц	Размерность
СИ	джоуль ( $J$ , $J$ )	$(N \cdot m) m^2 \cdot kg \cdot sek^{-2}$
СГС	эрз ( $erg$ , $erg$ )	$cm^2 \cdot g \cdot sek^{-2}$
МКГСС	килограммометр ( $kgm$ )	$kg$
МКС	джоуль ( $J$ , $J$ )	$(N \cdot m) m^2 \cdot kg \cdot sek^{-2}$

$1 \text{ эрг (СГС)} = 10^{-7} \text{ дж};$	$1 \text{ дж} = 0,10198 \text{ кгм};$
$1 \text{ кгм (МКГСС)} = 9,80665 \text{ дж};$	$1 \text{ дж} = 0,239 \text{ кал};$
$1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ дж};$	$1 \text{ дж} = 10^7 \text{ эрг};$
$1 \text{ вт}\cdot\text{ч} = 3,6 \cdot 10^3 \text{ дж};$	$1 \text{ дж} = 2,78 \cdot 10^{-4} \text{ вт}\cdot\text{ч}.$

#### 4. Единицы мощности

Таблица 8—8

Системы	Наименование единиц	Размерность
СИ	вatt ( <i>вт</i> , <i>W</i> )	$(\text{дж}\cdot\text{сек}^{-1}) \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-3}$
СГС	эрг в секунду	$(\text{эрг}\cdot\text{сек}^{-1}) \text{ см}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{сек}^{-3}$
МКГСС	килограммометр в секунду	$(\text{кГм}\cdot\text{сек}^{-1}) \text{ м} \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-1}$
МКС	вatt ( <i>вт</i> , <i>W</i> )	$(\text{дж}\cdot\text{сек}^{-1}) \text{ м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-3}$
Внесистемная	лошадиная сила ( <i>л. с.</i> )	$75 \text{ кГм}\cdot\text{сек}^{-1}$
»	тепловая единица мощности	$\text{кал}\cdot\text{сек}^{-1}$
$1 \text{ эрг/сек} = 10^{-7} \text{ вт};$		$1 \text{ вт} = 0,102 \text{ кг}\cdot\text{м/сек};$
$1 \text{ кг}\cdot\text{м/сек} = 9,81 \text{ вт};$		$1 \text{ вт} = 10^7 \text{ эрг/сек};$
$1 \text{ л. с.} = 736 \text{ вт};$		$1 \text{ вт} = 1,36 \cdot 10^{-3} \text{ л. с.};$
$1 \text{ кал/сек} = 4,19 \text{ вт};$		$1 \text{ вт} = 0,239 \text{ кал/сек.}$

#### 5. Единицы скорости

##### a) Линейная скорость

Таблица 8—9

Системы	Выражение скорости	Размерность
СИ	$\text{м/сек}$	$\text{м}\cdot\text{сек}^{-1}$
СГС	$\text{см/сек}$	$\text{см}\cdot\text{сек}^{-1}$
МКГСС, МКС	$\text{м/сек}$	$\text{м}\cdot\text{сек}^{-1}$
Внесистемные	$\text{м/мин}$	—
»	$\text{км/час}$	—

Скорость  $1 \text{ см/сек} = 10^{-2} \text{ м/сек};$   
 »  $1 \text{ м/мин} = 1,67 \cdot 10^{-2} \text{ м/сек};$   
 »  $1 \text{ км/час} = 0,2778 \text{ м/сек};$   
 »  $1 \text{ м/сек} = 60 \text{ м/мин} = 3,6 \text{ км/час} = 100 \text{ см/сек.}$

##### б) Угловая скорость

В системе СИ угловая скорость выражается в *рад/сек*. В прежних системах и в практике угловая скорость выражалась как в *рад/сек*, так и в *град/сек, об/мин*.

Соотношение между этими единицами следующее:

$$1 \text{ град/сек} = 0,01745 \text{ рад/сек};$$

$$1 \text{ об/мин} = 0,1047 \text{ рад/сек};$$

$$1 \text{ рад/сек} = 57,2958 \text{ град/сек} = 9,5493 \text{ об/мин}.$$

## 6. Единицы плоского угла

В системе СИ плоские углы измеряются в радианах. Внешними единицами измерения углов являются: градус, минута, секунда.

Соотношение между этими единицами следующее:

$$1 \text{ градус } (^{\circ}) = \frac{\pi}{180} \text{ рад} = 1,75 \cdot 10^{-2} \text{ рад};$$

$$1 \text{ минута } ('') = \frac{\pi}{180 \cdot 60} \text{ рад} = 2,91 \cdot 10^{-4} \text{ рад};$$

$$1 \text{ секунда } ('') = \frac{\pi}{180 \cdot 60 \cdot 60} \text{ рад} = 4,85 \cdot 10^{-6} \text{ рад};$$

$$1 \text{ радиан} = 180^{\circ} : \pi = 57^{\circ}, 2958;$$

$$1 \text{ радиан} = 10\,800' : \pi = 3437', 747;$$

$$1 \text{ радиан} = 648\,000'' : \pi = 206\,264'', 81.$$

## 7. Единицы давления (напряжения)

Таблица 8—10

Системы	Наименование единиц	Сокращенное обозначение	Размерность
СИ	ニュ顿 на квадратный метр	$\text{Н/м}^2$	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-2}$
СГС	дина на квадратный сантиметр	$\text{дин/см}^2$	$\text{см}^{-1} \cdot \text{г} \cdot \text{сек}^{-2}$
МКГСС	килограмм-сила на квадратный метр	$\text{кгс/м}^2$	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}$
МКС	ニュтон на квадратный метр	$\text{Н/м}^2$	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-2}$
Внесистемная	техническая атмосфера	$at$	$\text{см}^{-2} \cdot \text{кг}$
»	физическая атмосфера	$atm$	—
»	миллиметры ртутного столба ( <i>тор</i> , <i>тор</i> )	$мм \text{ рт. ст.}$	—
»	миллиметры водяного столба	$мм \text{ вод. ст.}$	—
»	бар	$бар$	—

$$1 \text{ дин/см}^2 = 0,1 \text{ Н/м}^2; \quad 1 \text{ Н/м}^2 = 10 \text{ дин/см}^2;$$

$$1 \text{ кг/м}^2 = 9,81 \text{ Н/м}^2; \quad 1 \text{ Н/м}^2 = 0,102 \text{ кг/м}^2;$$

$$1 \text{ ат} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2; \quad 1 \text{ Н/м}^2 = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ ат};$$

$$1 \text{ атм} = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2; \quad 1 \text{ Н/м}^2 = 9,87 \cdot 10^{-6} \text{ атм};$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Н/м}^2; \quad 1 \text{ Н/м}^2 = 7,50 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.};$$

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 9,81 \text{ Н/м}^2; \quad 1 \text{ Н/м}^2 = 0,102 \text{ мм вод. ст.};$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Н/м}^2; \quad 1 \text{ Н/м}^2 = 10^{-5} \text{ бар}.$$

Определение соотношения между другими производными единицами двух систем можно произвести, воспользовавшись следующим правилом:

- 1) записывается размерность одной производной единицы;
- 2) основные единицы принятой системы заменяют соответствующими единицами другой системы, учитывая при этом соотношение между ними;
- 3) в полученном выражении производятся алгебраические действия над числами и над наименованиями основных единиц.

Например, найдем соотношение между единицами удельного давления в системах СИ и СГС.

В системе СИ удельное давление выражается в ньютонах на метр квадратный ( $\text{Н}/\text{м}^2$ ) и имеет размерность

$$1 \text{ Н}/\text{м}^2 = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = \frac{1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м}}{1 \text{ сек}^2 \cdot 1 \text{ м}^2}.$$

В системе СГС основными единицами являются: сантиметр (см), грамм (г), секунда (сек). Соотношения между основными единицами систем СИ и СГС равны:  $1 \text{ кг} = 10^3 \text{ г}$ ;  $1 \text{ м} = 10^2 \text{ см}$ ;  $1 \text{ сек} = 1 \text{ сек}$ .

Заменив основные единицы системы СИ соответствующими единицами системы СГС и произведя необходимые алгебраические действия, получим соотношение  $1 \text{ Н}/\text{м}^2 = \frac{10^3 \text{ г} \cdot 10^2 \text{ см}}{1 \text{ сек}^2 \cdot (100 \text{ см})^2} = = 10 \text{ см}^{-1} \cdot \text{г} \cdot \text{сек}^{-2}$ , которое и будет являться искомым. Из этого соотношения видно, что удельное давление в  $1 \text{ Н}/\text{м}^2$  (СИ) соответствует  $10 \text{ дин}/\text{см}^2$  (СГС).

Соотношения между градусной и радианной единицами измерений плоских углов приведены в приложениях 6, 7, а тригонометрические функции для углов, выраженных в радианах — в приложении 8.

### 8—3. ПЕРЕВОД ФОРМУЛ ИЗ ДРУГИХ СИСТЕМ В МЕЖДУНАРОДНУЮ СИСТЕМУ ЕДИНИЦ

В справочниках, учебных пособиях и другой технической литературе по лесотранспорту имеется множество формул. Часть из них выведена теоретическим путем на основании классических законов математики, механики и физики. В основе второй части формул лежат результаты экспериментальных исследований.

При переводе формул из других систем в Международную систему единиц могут встретиться следующие их разновидности:

I. Формулы, все входящие величины которых выражены в одной какой-либо системе, без применения внесистемных единиц.

II. Формулы, в которых однородные величины выражены в одной системе, а неоднородные величины — в разных системах и внесистемных единицах.

III. Формулы, в которых для однородных величин применяются единицы измерения из разных систем и внесистемные единицы.

IV. Формулы, в которых применяются единицы измерения из различных систем, а также внесистемные единицы и которые содержат эмпирические коэффициенты.

Формулы I типа при переходе к Международной системе единиц не изменяют своей структуры. Их можно применять без предварительных преобразований.

Так, например, формула для определения силы сопротивления воздушной среды движущемуся автомобилю при отсутствии ветра в системе СИ, МКС, СГС и МКГСС записывается одинаково

$$W_b = c\rho S v_0^2, \quad (8-20)$$

где  $c$  — коэффициент, зависящий от формы автомобиля и степени гладкости его кузова, — величина безразмерная;

$\rho$  — плотность воздуха, выражаемая в  $\text{кг}/\text{м}^3$  (в системах СИ и МКС),  $\text{кг}\cdot\text{сек}^2/\text{м}^4$  (в МКГСС) и  $\text{г}/\text{см}^3$  (в СГС);

$v_0$  — скорость движения автомобиля, выражаемая в  $\text{м}/\text{сек}$  (в системах СИ, МКС, МКГСС) и  $\text{см}/\text{сек}$  (в СГС);

$S$  — лобовая площадь автомобиля, выражаемая в  $\text{м}^2$  (СИ, МКС, МКГСС) и  $\text{см}^2$  (СГС).

Подставляя в формулу (20) величины в различных системах единиц, получим значение сопротивления  $W_b$ , н (системы СИ, МКС),  $\text{кг}$  (МКГСС),  $\text{дин}$  (СГС). Если же в формулу (20) подставлять величины в разных системах, то появится постоянный коэффициент, приводящий все величины к единой системе единиц.

Подобно формуле (20) центробежная сила, действующая на автомобиль, независимо от принятой системы единиц, определяется из выражения

$$F_{\text{ц}} = m \frac{v^2}{R}. \quad (8-21)$$

Единица же силы в этом случае будет всецело зависеть от того, в какой системе единиц приняты входящие в формулу величины, а именно: в системе СИ и МКС масса  $m$  выражается в  $\text{кг}$ , скорость  $v$  —  $\text{м}/\text{сек}$ , радиус вращения  $R$  —  $\text{м}$ , а следовательно, размерность силы  $F_{\text{ц}}$  будет  $\text{м}\cdot\text{кг}\cdot\text{сек}^{-2}$ , т. е.  $F$  будет выражаться в ньютонах.

Аналогичным путем нетрудно убедиться, что если принимать исходные данные в системе МКГСС, то силу  $F$  получим в килограммах, а в системе СГС — в динах.

Формулы II типа при переводе их в Международную систему единиц упрощаются. Коэффициенты перехода от единиц одной системы к соответствующим единицам другой системы в этом случае отпадают.

Для перевода такого типа формул в систему СИ следует

входящие в формулу величины выразить в этой системе и при необходимости произвести над ними алгебраические действия.

Возьмем к примеру известную из курса «Сухопутный транспорт леса» [14] формулу для определения расстояния видимости на дороге

$$S_0 = \frac{v}{3,6} + \frac{1000K_9 v^2}{2g(\varphi + f_0 \pm i)} + S_3. \quad (8-22)$$

В этой формуле линейная величина  $S_3$  — запасное расстояние — выражена в метрах,  $v$  — скорость движения — в  $\text{км/час}$ ,  $g$  — ускорение — в  $\text{км/час}^2$  ( $g = 127\,000 \text{ км/час}^2$ ), а остальные величины безразмерные.

Для перевода формулы (22) в Международную систему единиц выразим скорость в  $\text{м/сек}$ , а ускорение в  $\text{м/сек}^2$ , зная при этом, что скорость  $1 \text{ м/сек} = 3,6 \text{ км/час}$ , а ускорение  $1 \text{ м/сек}^2 = 12\,960 \text{ км/час}^2$ . После подстановки формула (22) примет вид

$$S_0 = \frac{3,6v}{3,6} + \frac{1000K_9(3,6v)^2}{2 \cdot 9,81 \cdot 12\,960(\varphi + f_0 \pm i)} + S_3. \quad (8-23)$$

Произведя сокращение цифровых величин, получим формулу

$$S_0 = v + \frac{K_9 v^2}{2g(\varphi + f_0 \pm i)} + S_3, \quad (8-23a)$$

которая и будет выражена в Международной системе единиц.

К III типу формул относится большинство формул сухопутного транспорта леса. Для перевода их в Международную систему единиц необходимо:

- 1) записать формулу в том виде, в котором она применялась на практике;
- 2) установить размерность всех входящих в формулу величин;
- 3) определить соотношение между единицами СИ и теми, которые использованы в формуле;
- 4) входящие в формулу величины выразить в единицах Международной системы;
- 5) произвести алгебраические действия с числовыми значениями и наименованиями единиц;
- 6) записать формулу в новом виде и установить размерность получаемого по ней результата.

Рассмотрим для примера формулу, которая часто применяется для определения касательной силы тяги автомобиля:

$$F_k = \frac{270N}{v} \eta \text{ кг}, \quad (8-24)$$

где  $N$  — мощность двигателя, л. с.;

$v$  — скорость движения,  $\text{км/час}$ ;

$\eta$  — к. п. д. трансмиссии.

В Международной системе единиц мощность имеет размерность  $\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{сек}^{-3}$  и выражается в ваттах, а скорость —  $\text{м/сек}$ .

Известно, что мощность 1 ватт ( $m^2 \cdot kg \cdot sek^{-3}$ ) =  $1,36 \cdot 10^{-3}$  л. с.; скорость 1 м/сек = 3,6 км/час.

В формуле (24) произведем замену величин разных систем величинами системы СИ:

$$F_k = \frac{270 \cdot 1,36 \cdot 10^{-3} N}{3,6 \cdot v} \eta \text{ кг.}$$

Сокращая числовые коэффициенты, получим

$$F_k = \frac{0,102 N}{v} \eta \text{ кг.} \quad (8-25)$$

Но так как 1 ньютон (система СИ) равен 0,102 килограмм-силы (система МКГСС), то, очевидно,

$$F_k = \frac{N}{v} \eta \text{ н.} \quad (8-26)$$

Полученную формулу и следует считать расчетной при определении касательной силы тяги.

Перевод формул IV типа в Международную систему единиц рассмотрим на следующих примерах.

Опытным путем выведена формула для определения минимального расстояния между автопоездами, движущимися по льду:

$$l = 5 \sqrt[3]{Q} \text{ м,} \quad (8-27)$$

где  $Q$  — вес автопоезда в тоннах.

При переводе этой формулы в систему СИ вес автопоезда  $Q$  необходимо выразить в ньютонах и определить новое значение коэффициента пропорциональности.

При этом преобразования и вычисления производятся в следующем порядке:

1. Устанавливаем зависимость между ньютоном (единицей силы в системе СИ) и тонной (внесистемной единице, использованной при получении формулы (27)):

$$1 \text{ н} = 1,02 \cdot 10^{-4} \text{ м. с.}$$

2. В формуле (27) производим замену единиц:

$$l = 5 \sqrt[3]{\frac{1,02 Q}{10000}} \text{ м.} \quad (8-28)$$

3. Из цифровых величин извлекаем корень, а полученное значение умножаем на постоянный коэффициент. В результате получим

$$l = 0,0505 \sqrt[3]{Q} \text{ м,} \quad (8-29)$$

где  $Q$  — вес автомобильного поезда, н.

Если вес автомобильного поезда выразить в кн, то численное значение коэффициента, входящего в формулу (29), изменится и формула примет вид (4-57).

При определении уширения проезжей части на закруглении автомобильной дороги в основу расчета кладется метод стати-

ческого вписывания автомобильного поезда. Влияние скорости на характер вписывания обычно [14] учитывается поправкой

$$\Delta e = \frac{0,1v}{\sqrt{R}} \text{ м}, \quad (8-30)$$

где  $v$  — скорость движения, км/час;

$R$  — радиус закругления, м.

Выражая скорость  $m/сек$ , получим новое значение коэффициента пропорциональности, а формула (30) изменится и примет вид

$$\Delta e = \frac{0,1 \cdot 3,6v}{\sqrt{R}} = \frac{0,36v}{\sqrt{R}} \text{ м}. \quad (8-31)$$

Кроме рассмотренных выше разновидностей формул, нередко встречаются и такие, в которых масса, плотность, массовая скорость, массовый расход неправильно называют весом, удельным весом, весовой скоростью, весовым расходом.

Следует обращать внимание на физическую сущность, правильность названия величин, а также правильно записывать соответствующие им размерности.

Так, например, неоправданно до сих пор транспортную (грузовую) работу часто определяют как произведение объема или массы древесины на расстояние перевозки и выражают ее в кубокилометрах или в тонна-километрах.

Более правильно считать, что грузовая работа — это произведение веса груза в ньютонах на расстояние в метрах. При этом условии транспортная работа, как и другие ее виды, будет выражаться в джоулях.

В тягово-эксплуатационных расчетах лесотранспорта вошло в привычку массы груза и машин неправильно называть их весом.

При написании настоящего пособия использована Международная система единиц. Все формулы приведены к этой системе, и поэтому во многих случаях они отличаются от формул, содержащихся в учебной и технической литературе.

Сведения настоящей главы позволяют освоить способы перевода различных технических величин и расчетных формул к единой Международной системе единиц, успешно пользоваться современными методами расчета и правильно решать различные задачи лесотранспорта.

## ОТВЕТЫ \*

### Глава I

2. 0,93 рад; 3. 6,2 км; 4. 44 км; 5. 720 м; 6. 18,3 км;  
7. 14,5 м/га, 116 м/1000 м<sup>3</sup>; 8. от 1,4 до 1,0; 9. 7,3 м/га;  
10. 8 км; 11. 120 тыс. м; 12. 16 км, 6,4 км; 13. 20 м/га;  
14. 8,1 тыс. м<sup>3</sup>; 15. 1,64; 4,1 м/га; 17. 150 тыс. м<sup>3</sup>; 18. 60 тыс. м<sup>3</sup>,  
180 тыс. м<sup>3</sup>; 19. 103,8 Мдж, 29 Гдж; 20. 35,9 Гдж; 21. 17,3 км,  
108 тыс. м<sup>3</sup>, 3,7 м<sup>3</sup>/м; 22. 4,2 км; 23. 2,75; 24. 24 км, 0,4;  
25. 1,05.

### Глава II

28. 53,6 м, 104,7 м, 7,0 м, 2,5 м; 29. 71,5 м; 30. 0,1; 31. 130,7 м;  
32. 150 м; 33. 52 м; 35. ПК8 + 94, ПК11 + 44; 36. 100 м;  
37. 0,24, 0,16; 38. 14 м; 39. 10 м; 40. 0,6627 рад, 0,9081 рад,  
81 м, 40 м; 43. 26,62 м; 44. 0,56 м/сек<sup>3</sup>; 45. 16 м, 12,6 м/сек,  
47. 3,2 м; 48. 6,3 м; 49. 1 м; 50. 1,25 м, 0,7 м; 51. 13%; 52. 8 см;  
53. 1,03 м; 54. 65 м; 56. Одна полоса; 57. 0,75 м; 59. 0,9 м;  
60. 0,3 м; 62. 1,7 м; 63. 200 м; 65. 0,3 м; 66. 0,6 м; 68. 3,6 м;  
70. 0,05; 71. 0,054, 24 м; 72. 11,5 м/сек; 73. 77 м; 74. 41,2 м;  
75. 10%; 76. 0,24 м, 0,33 м; 77. ≈ 87 м<sup>3</sup>; 78. 0,21; 79. 1,2; 80. 13,  
15, 17 м/сек; 81. 0,047; 82. 15%; 83. при  $\alpha > 0,65$  рад; 84. 1,48;  
86. 75 м; 87. 62 м; 88. 77 м; 89. 62 м; 90. 60 м; 91. 5,7 м;  
92. 3,1 м; 93. ≈ 400 м.

### Глава III

97. 24%<sub>00</sub>, 2,4%, 0,024 рад; 100. 0,0436 рад, 550 м; 101. 0,64 м/сек<sup>2</sup>;  
202 кн; 102. 1,07; 103. 800 м; 104. 35 м, 17,5 м, 0,3 м;  
105. 49 м; 106. 1500 м, 75 м, 150 м, 1,87 м; 108. 85 м;

\* В отдельных задачах, где допускается свободный выбор величин и коэффициентов, ответы могут несколько отличаться от тех, которые здесь приведены.

109. 660 м, 290 м; 110. 10 м/сек, 5,3 м/сек; 113. 0,073; 114. 0,058;  
 116. 74 м; 117. 4,5 м; 119. 0,38 м; 120. 1,06 м; 121. 0,75 м;  
 122. 1,4 м, 1,0 м; 123. 12,2 м, 10,0 м, 0,9 м, 0,8 м; 124. 20,9 м;  
 125. 9,56 м, 5,67 м, 9,33 м, 5,60 м; 128. 33,5 м; 130. 9,8 м;  
 131. 8,18 м, 5,96 м; 132. 112 м<sup>3</sup>; 133. 417 м<sup>3</sup>; 134. 1592 м<sup>3</sup>;  
 135. 1000 м<sup>3</sup>; 137. 1985 м<sup>3</sup>; 138. 5107 м<sup>3</sup>; 140. 152 м<sup>3</sup>; 141. 1912 м<sup>3</sup>;  
 142. 3840 м<sup>3</sup>; 144. ≈ 2; 145. 0,8 м; 146. 0,61 радиан; 147. ≈ 0,84 радиан;  
 148. ≈ 1,1 радиан; 150. 0,5 радиан; 152. 4,4; 157. 2,2; 159. 1 м;  
 160. 1,58; 161. 4,8; 162. 0,27; 163. 0,2 м; 164. 0,22 м.

## Глава IV

167. 56%; 168. 60%; 169. 17,5%; 170. 12,5%; 171. 44%; 172. 9%;  
 176. 67%; 177. 386 м<sup>3</sup>; 178. 322 м<sup>3</sup>; 181. До ПК 97; 183. 27,5 Мн/м<sup>2</sup>;  
 185. 65 автомобилей; 186. 380 автомобилей; 187. 84 автомобиля;  
 188. 41 Мн/м<sup>2</sup>; 190. 10 Мн/м<sup>2</sup>; 191. 20,3 Мн/м<sup>2</sup>; 192. 20 см;  
 194. 28 см; 197. 16 см; 199. 0,2 м; 200. 71 автомобиль;  
 202. 100 автомобилей, 25 Мн/м<sup>2</sup>; 203. 36 см; 204. 7,5 Мн/м<sup>2</sup>;  
 205. 1 м; 206. 0,95 м, 0,65 м; 208. 2,4 Мн/м<sup>2</sup>; 209. 14,3 кНм;  
 210. 15,2 кН/м<sup>2</sup>; 12,3 кНм; 213. 13 см<sup>2</sup>, 0,81%; 214. 11,4 кНм,  
 8,9 кНм; 218. 3,5%; 219. 8,5 кНм, 5,2 кНм; 220. 199 Мн/м<sup>2</sup>;  
 221. 11,5 см, 15 см; 222. 14,3 кНм; 225. 0,1 мм; 227. 23 дня;  
 228. 28 см; 229. 40 кН; 230. 26 м; 231. 0,6 м, 500 кг/м<sup>3</sup>;  
 232. 1,22 см; 233. 22 м; 234. 160 кН; 235. 10 дней; 236. 44 см;  
 237. 2 часа; 238. 210 кН; 239. 178 кН; 240. 5 см; 241. 7,5 мм;  
 242. 15,5 см; 243. 6,5 см; 244.  $P \leq 0,6 \text{ Мн/м}^2$ ; 247. 20 мин;  
 248. 5 мм; 249. 45 м<sup>3</sup>; 250. 955 м; 251. 184 м<sup>3</sup>; 252. 22 см;  
 253. 36 см; 254. 1,3 года; 256. Гравийное; 262.  $Q \geq 200$  тыс. м<sup>3</sup>.

## Глава V

267. 1070 тыс. м<sup>3</sup>; 268. 16 мин; 275. 18,4 м<sup>3</sup>/сек; 278. 1380 тыс. м<sup>3</sup>;  
 280. 13,8 м<sup>3</sup>/сек; 281. 72 м<sup>3</sup>/сек; 282. 4,5 м<sup>3</sup>/сек; 284. 7,6 м<sup>3</sup>/сек;  
 287. 1,7 м<sup>3</sup>/сек; 288. 420 м; 289. 37,5 тыс. м<sup>3</sup>; 291. 41 м<sup>3</sup>/сек,  
 64 м<sup>3</sup>/сек, 126 м<sup>3</sup>/сек; 292. 1,5 м<sup>3</sup>/сек; 293. 1 м; 294. 7,8 м<sup>2</sup>;  
 296. 1,38 м; 297. 0,75 м<sup>3</sup>/сек; 298. 1 м; 299. 2,12 м<sup>3</sup>/сек;  
 300. 1,65 м<sup>3</sup>/сек; 301. 0,009; 302. 0,79; 303. 3,4 м<sup>3</sup>/сек, 1,9 м;  
 305. 8 тыс. м<sup>3</sup>; 308. 2 м; 309. 7,5 м; 310. 0,54 м; 311. 1,69 м<sup>3</sup>/сек;  
 312. 0,54 м<sup>3</sup>/сек; 314. 5 м<sup>3</sup>/сек; 317. 184 м<sup>2</sup>; 318. 2,4 м/сек;  
 319. 600 м<sup>2</sup>; 321. 0,75 м, 1,15; 323. 300 м<sup>2</sup>; 324. 256 м<sup>3</sup>/сек,  
 2537 м<sup>3</sup>/сек; 325. 2,7 м/сек; 327. 290 м<sup>2</sup>; 328. 114 м<sup>3</sup>/сек; 1,48 м/сек;  
 329. 123 м<sup>3</sup>/сек, 1,33 м/сек; 330. 93,6 м; 331. 1,95 м; 332. 128 м;  
 333. 77 м; 334. 138 м; 336. 98,42 м; 337. 11,36 м; 338. 13 м;  
 339. 10,4 м; 340. 0,4; 341. 8,75, 9,25; 342. 135 м<sup>3</sup>;  
 345. 0,8 м; 346. 3,52 м<sup>3</sup>/сек; 347. 0,44 м, 0,72 м; 348. 0,23 м,  
 0,009; 349. 0,41 м; 350. 0,47 м; 351. 0,0089, 1,89 м/сек;  
 352. 1,36 м<sup>3</sup>/сек, 1,45 м/сек; 353. 0,0054; 354. 0,6 м<sup>3</sup>/сек,

0,34 м/сек; 356. 0,31 м<sup>3</sup>/сек; 357. 0,78 м, 0,47 м; 358. 0,51 м, 0,28 м, 0,0042; 360. 0,5 м, 1,55 м/сек; 362. 87, 11,7 м; 363. 30%;

364. 0,54 м<sup>3</sup>/сек, 0,52 м/сек.

## Г л а в а VI

367. 44,2 кн; 368. 9 кн; 369. 4,6 м<sup>3</sup>; 370. 0,76; 371. 0,0135 м<sup>3</sup>/сек; 372. 48 кн; 373. 55,5 кн; 374. 0,0083 м<sup>3</sup>/сек; 377. 39,6 кн; 379. 0,011 м<sup>3</sup>/сек; 380. 1,15 га; 381. 42 кн; 383. 1,65 м<sup>2</sup>/сек; 385. 0,0186 м<sup>3</sup>/сек; 386. 335 м; 387. 9; 388. 1,6 м/сек; 393. 0,03 м<sup>3</sup>/сек; 394. ≈ 10 автомобилей; 396. 24 м; 397. 298 рабочих смен; 402. 5 лет; 403. 50 тыс. м<sup>3</sup>; 404. 16 тыс. руб., 1,4 г; 405. II вариант; 406. 1000 руб.

## Г л а в а VII

411. 4 кн; 413. 21,6 кн; 414. 5 кн, 16,6 кн; 415. 0,23; 416. 6,9 кн; 419. 66 квт; 420. 15,2 кн; 421. 7,2 кн; 425. 550 н; 426. 955 н; 427. ≈ 0,02; 429. При  $i = f_0 + \omega_b$ ; 430. 4,8 кн; 431. 33 кн; 432. 50 кн; 433. 0,045; 434. 4,9 кн, 67%; 436. 21 м; 437. 72 м; 438. 106 кн; 441. 96%; 442. На 42%; 443. 40 кн; 444. 163 м; 445. 9,6 м/сек; 446. ≈ 2; 447. 40 км; 448. 11,8 м/сек; 450. 17 м<sup>3</sup>/смену; 451. 7,2 м/сек; 453. 6 м/сек; 454. 4,7 м/сек; 455. 5; 456. МАЗ-200; 457. ЗИЛ-157; 458. 1200 дм<sup>3</sup>; 459. 20,5 м<sup>3</sup>; 460. 21,5 м<sup>3</sup>; 461. 364 дм<sup>3</sup>; 462. ≈ 145 дм<sup>3</sup>; 463. ≈ 450 км; 464. 4 Мг, 800 кг, 1000 кг; 469. ≈ 10—14 мм; 470. 4 года.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г. А. Метод установления зависимости между интенсивностью, продолжительностью и повторяемостью ливней. Труды НИУ ГМС, сер. IV, вып. I. Л., Гидрометеоиздат, 1941.
2. Андреев О. В. и др. Примеры проектирования автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1955.
3. Андреинов В. Т. Гидрологические расчеты при проектировании малых и средних гидроэлектростанций. Л., Гидрометеоиздат, 1957.
4. Бабков В. Ф., Замахаев М. С. Автомобильные дороги. М., Автотрансиздат, Ч. I, 1959; ч. II, 1960.
5. Багдасаров С. М., Ланцберг Ю. С. Эксплуатация городских дорог. М., Изд-во Минкоммунхоза РСФСР, 1963.
6. Барац Л. Д. Гидравлические расчеты дорожных труб. Харьков, Изд-во Харьковского государственного университета, 1954.
7. Бируля А. К. Проектирование автомобильных дорог. Ч. I и II. М., Автотрансиздат, 1961.
8. Бируля А. К. и др. Сборные железобетонные покрытия автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1960.
9. Бируля А. К., Грибников С. М. Дорожные покрытия облегченных конструкций. Киев, Изд-во литературы по строительству и архитектуре УССР, 1959.
10. Бируля А. К. Исследования методов расчета и конструирования нежестких дорожных одежд. Сборник трудов ХАДИ, вып. 25. Изд-во Харьковского государственного университета, 1961.
11. Богомолов А. И., Константинов Н. М. Примеры гидравлических расчетов. М., Автотрансиздат, 1962.
12. Болдаков Е. В. (под общей редакцией). Краткий справочник по трубам и малым мостам. М., Автотрансиздат, 1963.
13. Болдаков Е. В. Переходы через большие водотоки. М., Дориздат, 1949.
14. Буверт В. В. и др. Сухопутный транспорт леса. Т. I. М.—Л., Гослесбумиздат, 1960.
15. Будыка С. Х., Тихонов А. Ф. Лесопромышленный справочник. Минск, Изд-во АН БССР, 1962.
16. Ветчинкин Н. С. Автотракторная тяга на лесотранспорте М.—Л., Гослесбумиздат, 1958.
17. Винокуров Ф. П. и др. Строительные свойства торфяных грунтов. Минск, Изд-во АН БССР, 1962.
18. Волков М. И. и др. Дорожно-строительные материалы. М., Автотрансиздат, 1960.
19. Воскресенский К. П. Гидрологические расчеты при про-

ектировании сооружений на малых реках, ручьях и временных водотоках. Л., Гидрометеоиздат, 1956.

20. Гаврилов И. И., Лахно Р. П. Упрощенный метод подбора оптимальных смесей для гравийных покрытий автомобильных лесовозных дорог. М., ЦБТИ—ЦНИИМЭ, 1958.

21. Гастев Б. Г. Некоторые вопросы теории перевозок древесины в хлыстах на лесовозных дорогах. Львов, 1958.

22. Горбачевский В. А. и др. Вывозка леса автомобилями. М.—Л., Гослесбумиздат, 1955.

23. Горбунов-Посадов М. И. Расчет конструкций на упругом основании. М., 1953.

24. Грицкевич А. Г., Леонович И. И. Транспорт леса. Минск, Госиздат БССР, 1961.

25. Дараган Л. Д., Лахно Р. П. Справочник мастера лесовозной автомобильной дороги. М.—Л., Гослесбумиздат, 1961.

26. Дмитриевский С. М. и др. Текущее содержание лесовозных автомобильных дорог. М.—Л., Гослесбумиздат, 1961.

27. Дубелир Г. Д. (под редакцией). Основы проектирования автомобильных дорог. М., Изд-во наркомхоза РСФСР, 1939.

28. Епифанов Б. Е., Ионов Б. Д. Дорожно-строительные машины в лесной промышленности. М.—Л., Гослесбумиздат, 1961.

29. Епифанов Б. Е., Смиреников П. С. Эксплуатация и ремонт лесовозных железных дорог. М.—Л., Гослесбумиздат, 1956.

30. Ерахтин Д. Д., Лопухов Е. И. Одноколейные ледяные дороги. М.—Л., Гослесбумиздат, 1950.

31. Зашепин А. Н. и др. Бетонные покрытия автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1961.

32. Зимелев Г. В. Теория автомобиля. М., Машгиз, 1951.

33. Иванов Н. Н. (под редакцией). Обоснование расчетных параметров для нежестких дорожных покрытий. М., Изд-во дорожно-технической литературы Гушосдора МВД СССР, 1952.

34. Иванов Н. Н. Строительство автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1963.

35. Ильин Б. А. Сухопутный транспорт леса. Л., 1961 г.

36. Ильин Б. А. Сухопутный транспорт леса. Методическое руководство по курсовому проектированию автомобильных лесовозных дорог. Л., 1959.

37. Инструкция по расчету сечений элементов железобетонных конструкций (И-123—55). М., Государственное изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1956.

38. Инструкция по проектированию предварительно напряженных железобетонных конструкций. М., 1953.

39. Инструкция по назначению конструкции дорожных одежд нежесткого типа ВСН-46-60. Минтранстрой СССР. М., Автотрансиздат, 1961.

40. Калашников П. М. Гидравлический расчет треугольных канав по характеристике их живого сечения. Сборник научных трудов БЛТИ имени С. М. Кирова. Минск, Госиздат БССР, 1957.

41. Кишинский М. И. Эксплуатация и ремонт лесовозных дорог. М.—Л., Гослесбумиздат, 1954.

42. Козловский Б. К., Некрасов В. К. Справочник строителя автомобильных дорог промышленных предприятий. М., 1958.

43. Корсунский М. Б. О критериях предельного состояния нежестких дорожных одежд, предназначенных для работы в упругой стадии. Сборник трудов ХАДИ, вып. 25. Харьков, Изд-во Харьковского государственного университета, 1961.

44. Корчунов Н. Г. и др. Технология лесозаготовок и транспорта леса. М., Гослесбумиздат, 1962.

45. Корунов М. М. Оптимальная сеть лесовозных усов. Тезисы

межвузовской научно-производственной конференции «Вопросы развития лесовозного транспорта». Л., 1962.

46. Кривисский А. М. Принципы конструирования нежестких дорожных одежд с капитальными покрытиями. Сборник трудов ХАДИ, вып. 25. Харьков, Изд-во Харьковского государственного университета, 1961.

47. Кривисский А. М. Новые схемы для расчета нежестких дорожных одежд. М., Автотрансиздат, 1961.

48. Крутецкий Е. В. (под общей редакцией). Дороги и мосты. М., Изд-во Минкоммунахзова РСФСР, 1952.

49. Кротов В. Р., Таргонский М. Н. Организация строительства лесовозных дорог. М., Гослесбумиздат, 1962.

50. Кувалдин Б. И., Морозов С. И. Проектирование лесовозных автомобильных дорог. М., Гослесбумиздат, 1962.

51. Ладыгин Б. И. Основы прочности и долговечности дорожных бетонов. Минск, Изд-во МВСС и ПО БССР, 1963.

52. Лахно В. П., Лахно Р. П. Автомобильные лесовозные поезда. М.—Л., Гослесбумиздат, 1961.

53. Лебедев В. В. Гидрология и гидрометрия в задачах. М., Гидрометеорологическое изд-во, 1955.

54. Лексау И. Н. и др. Справочник шоferа лесовозного автомобиля. М.—Л., Гослесбумиздат, 1962.

55. Леонович И. И. Расчет лежневого покрытия автомобильных лесовозных дорог, колесопроводы которого уложены на шпалах. Труды ЦНИИМЭ, Дорожно-строительные работы на лесозаготовках, вып. 6. М., 1960.

56. Лесозаготовки. Сухопутный транспорт леса. Справочник. М., Гослесбумиздат, 1962.

57. Мельников В. И. и др. Сухопутный лесотранспорт и лесосплав. М., Гослесбумиздат, 1962.

58. Морозов С. А., Тетерин Д. И. Выбор конструкции одежды автомобильной лесовозной дороги. М., Гослесбумиздат, 1960.

59. Некрасов Н. С. Методы расчета железобетонных плит колейных автомобильных дорог. Тезисы межвузовской научно-производственной конференции «Вопросы развития лесовозного транспорта», Л., 1962.

60. Новые методы расчета и испытаний дорожных одежд нежесткого типа (под редакцией Н. Н. Иванова). М., Автотрансиздат, 1962.

61. Нормы и технические условия проектирования бетонных и железобетонных конструкций (НиТУ 123—55). М., Государственное изд-во по строительству и архитектуре, 1955.

62. Нормы стока и инструкция по расчету стока и отверстий малых мостов и труб. М., Автотрансиздат, 1955.

63. Огневский В. А. Гидрология суши. М., Сельхозгиз, 1952.

64. Орешкин Б. М. Организация производства земляных работ при строительстве автомобильных дорог. М., Изд-во «Высшая школа», 1961.

65. Парашук В. А., Юдельсон Н. А. Строительные и дорожные машины. М., Машгиз, 1959.

66. Пиковский Я. М. и др. Дорожные машины и оборудование. М., Машгиз, 1960.

67. Попов Д. А., Жуков В. В. Сухопутный транспорт. М.—Л., Гослесбумиздат, 1940.

68. Раев-Богословский Б. С. и др. Жесткие покрытия аэродромов. М., Автотрансиздат, 1961.

69. Ройzman А. С. Пособие к курсовому проектированию автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1962.

70. Сахновский К. В. Железобетонные конструкции. М., Госстройиздат, 1960.

71. Сиденко В. М. Расчет и регулирование водно-теплового режима дорожных одежд. М., Автотрансиздат, 1962.
72. Славуцкий А. К. Сельскохозяйственные дороги. М., Изд-во «Высшая школа», 1963.
73. Соколовский Д. П. Речной сток. Л., Гидрометеоиздат, 1952.
74. Строительные нормы и правила СНиП—62. М., Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства, 1962.
75. Сыромятников С. А. (под редакцией). Справочник изыскания лесозаготовительных предприятий. М.—Л., Гослесбумиздат, 1955.
76. Таргонский М. Н. Искусственные сооружения лесовозных дорог. М.—Л., Гослесбумиздат, 1956.
77. Телегин М. Я. и др. Содержание и ремонт автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1955.
78. Технические указания по проектированию автомобильных дорог лесозаготовительных предприятий. Л., 1963.
79. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200—62). М., Трансжелдориздат, 1962.
80. Тимофеев А. А. Сборные бетонные и железобетонные покрытия городских дорог и тротуаров. М., Изд-во Минкоммунхоза РСФСР, 1961.
81. Типовые технологические карты по дорожным работам. М., Государственное изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1957.
82. Федоров Л. Т. Композиционный метод расчета максимальных расходов воды от снеготаяния на малых реках и временных водотоках. М., Изд-во института Гидропроекта, 1958.
83. Фукс Е. Проектирование автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1959.
84. Чертов А. Г. Международная система единиц измерения. М., Россвязьиздат, 1963.
85. Чиков Я. П., Пиир А. А. Автомобильная вывозка леса на сменных прицепах. М., Гослесбумиздат, 1956.
86. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. М., Машгиз, 1950.
87. Шалаев С. А. Главные дороги, «Лесная промышленность», 1962, № 1.
88. Щелкунов В. В. Условия применения различных видов лесовозных дорог. Тезисы межвузовской научно-производственной конференции «Вопросы развития лесовозного транспорта», Л., 1962.
89. Яковлев А. В. Сборно-разборные железобетонные дорожные покрытия. М., Изд-во по строительству и архитектуре, 1958.
90. Янте А. Механика движения автомобиля. Ч. 1. М., Машгиз, 1958.

## АЛФАВИТЫ

## ЛАТИНСКИЙ

Буквы	Название
A a	а
B b	бэ
C c	цэ
D d	дэ
E e	э
F f	эф
G g	гэ (же)
H h	ха (аш)
I i	и
J j	йот (жи)
K k	ка
L l	эль
M m	эм
N n	эн
O o	о
P p	пэ
Q q	ку
R r	эр
S s	эс
T t	тэ
U u	у
V v	вэ
W w	дубль-вэ
X x	икс
Y y	игрек
Z z	зэт

## ГРЕЧЕСКИЙ

Буквы	Название
Α α	альфа
Β β	бэта
Γ γ	гамма
Δ δ	дельта
Ε ε	эpsilon
Ζ ζ	дзета
Η η	эта
Θ θ θ	тэта
Ι ι	иота
Κ κ	каппа
Λ λ	ламбда
Μ μ	ми (мю)
Ν ν	ни (ню)
Ξ ξ	кси
Ο ο	омикрон
Π π	пи
Ρ ρ	ро
Σ σ ζ	сигма
Τ τ	тай
Υ υ	ипсилон
Φ φ	фи
Χ χ	хи
Ψ ψ	пси
Ω ω	омега

**Краткая техническая характеристика**

Наименование	Единицы измерения	Марки авто				
		Урал-355М	ЗИЛ-164А	ЗИЛ-151	ЗИЛ-157	ЗИЛ-130
Грузоподъемность:						
по дорогам с твердым покрытием . . . . .	кн	35	40	45	45	55
по грунтовым дорогам . . . . .	кн	30	35	25	25	40
Вес автомобиля без груза . . . . .	кн	31,9	39,8	56,3	55,0	41,0
Распределение веса без груза по осям:						
передняя ось	н	15 000	18 100	25 400	24 700	20 850
задняя ось	н	16 900	21 700	30 900	30 300	20 150
Общий вес с номинальной нагрузкой . . . . .	н	67 800	80 500	102 000	100 750	96 000
Распределение номинальной нагрузки по осям:						
передняя ось	н	15 800	19 000	26 400	25 750	29 570
задняя ось	н	52 000	61 500	75 600	75 000	66 430
Габаритные размеры:						
длина . . . . .	м.м.	6 290	6 700	7 250	6 920	6 670
ширина (по колеснику) . . . . .	м.м.	2 450	2 450	2 450	2 450	2 500
Начальная высота погрузки . . . . .	м.м.	1 330	1 410	1 310	1 365	1 400

мобилей						
МАЗ-200	МАЗ-501	МАЗ-502	ЯАЗ-214	Урал-375Т	МАЗ-500	МАЗ-504
70	50	45	70	50	75	140
50	50	45	—	—	—	—
60,4	74,5	74,5	118,5	74,5	60,5	59,0
29 800	39 300	40 300	52 400	—	30 250	—
30 600	35 200	34 200	66 100	—	30 250	—
131 200	125 600	120 800	189 300	124 500	135 500	—
33 600	43 700	44 400	56 300	—	—	—
97 600	81 900	76 400	133 000	—	—	—
7 620	6 700	7 092	8 530	7 575	7 310	5 555
2 650	2 650	2 650	2 740	2 700	2 550	2 600
1 450	1 495	1 575	1 700	—	—	—

Наименование	Единицы измерения	Марки авто				
		Урал-355М	ЗИЛ-164А	ЗИЛ-151	ЗИЛ-157	ЗИЛ-130
База автомобиля	м.м.	3 824	4 000	4 225	4 225	3 800
База задней тележки . . .	м.м.	—	—	1 120	1 120	—
Колея колес:						
передних . . .	м.м.	1 611	1 700	1 590	1 755	1 800
задних . . .	м.м.	1 675	1 740	1 720	1 750	1 790
Наименьший радиус поворота автомобиля по переднему наружному колесу:						
по колее . . .	м	8,3	8,0	11,2	11,2	—
по крылу . . .	м	8,6	8,5	12,0	12,0	—
Максимальная скорость движения на гладком горизонтальном участке пути	м/сек	20,8	20,8	16,6	18,0	25,0
Наибольшая мощность . . . .	квт л. с.	70 95	73 97	68 86	77 104	110 150
Шины . . . .		8,25—20	260—20	8,25—20	1200—18	260—20
Ширина спаренных колес . . .	м.м.	590	590	590	—	590

мобилей

МАЗ-200	МАЗ-501	МАЗ-502	ЯАЗ-214	Урал-375Г	МАЗ-500	МАЗ-504
4 520	4 520	4 520	5 300	4 200	3 850	3 200
—	—	—	1 400	—	—	—
1 950	1 950	2 030	2 030	2 000	1 950	1 950
1 920	1 920	2 030	2 030	2 000	1 900	1 900
9,5	11,0	11,0	13,0	10,5	—	—
10,1	12,0	11,6	14,0	—	—	—
18,0	12,5	14,4	15,3	20,8	20,8	20,8
81	81	81	151	133	133	133
110	110	110	205	180	180	180
12,00—20	12,00—20	15,00—20	15,00—20	14,00—20	12,00—20	12,00—20
700	700	—	—	—	700	700

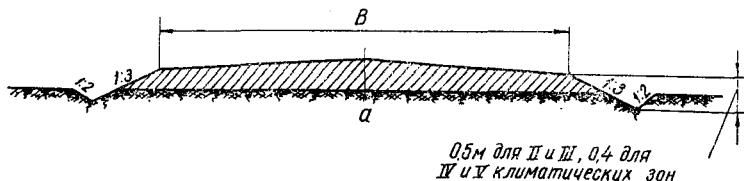
**Краткие технические характеристики прицепного подвижного состава автомобильных лесовозных дорог**

Марка прицепа	Грузоподъемность, кн	Вес (кн) при вывозке		Ширина колеи, мм	Начальная высота погрузки, мм	Ширина по коннику, мм	Давление в шинах (полозах), кн/м <sup>2</sup>	Предназначен для работы с автомобилями типа
		в хлыстах	в сортиментах					
<b>I. Колесный прицепной состав</b>								
Одноосный роспуск 1-Р-4 . .	40	11,7	10,1	1676	1317	2100	500	Урал-355М, ЗИЛ
Одноосный роспуск 1-Р-8 . .	80	20,9	19,6	1920	1605	2650	450	МАЗ
Двухосный роспуск 2-Р-5 . .	50	17,0	15,2	1750	1330	2077	450	ЗИЛ
Двухосный роспуск 2-Р-8 . .	80	20,3	19,0	1720	1520	2250	400	ЗИЛ
Двухосный роспуск 2-Р-10 . .	100	24,2	22,8	2030	1625	2610	280	МАЗ-502
Двухосный роспуск 2-Р-12 . .	120	24,2	22,8	2030	1625	2610	450	МАЗ
Двухосный роспуск 2-Р-15 . .	150	31,6	30,3	1920	1920	2638	450	МАЗ
Полуприцеп Гипролестранса . . .	80	1762		1676	1640	2800	500	ЗИЛ
Полуприцеп 1-ПП-12,5 . . .	125	2650		1920	1450	2900	450	МАЗ
<b>II. Санный прицепной состав</b>								
Однополозный роспуск АОС-6Х	60	9,8	8,0	2800	1396	3160	420	ЗИЛ
Однополозный прицеп АОС-6Х	120	12,3	12,1	2800	840	3160	400	ЗИЛ
Однополозный роспуск 1-РО-12	120	14,3	12,7	2800	1718	3160	450	ЗИЛ
Однополозный роспуск 1-РО-12	120	14,6	13,7	3400	1718	3760	450	МАЗ
Однополозный прицеп 2-ПО-20	200	23,1	22,3	3400	1018	3996	370	МАЗ
Однополозный прицеп 2-ПО-20	200	22,5	21,7	2800	1018	3396	370	ЗИЛ
Двухполозный роспуск СПП-6Х	60	9,1	7,4	1676	1300	2396	120	ЗИЛ
Двухполозный роспуск 1-РД-12	120	13,5	12,3	1720	1480	2466	170	ЗИЛ
Двухполозный роспуск 1-РД-12	120	13,9	12,7	1920	1480	2466	170	МАЗ
Двухполозный прицеп 2-ПД-20	200	23,4	21,8	1720	980	3266	140	ЗИЛ
Двухполозный прицеп 2-ПД-20	200	24,0	22,4	1920	980	3266	140	МАЗ

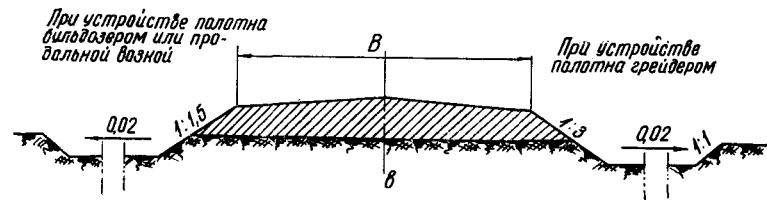
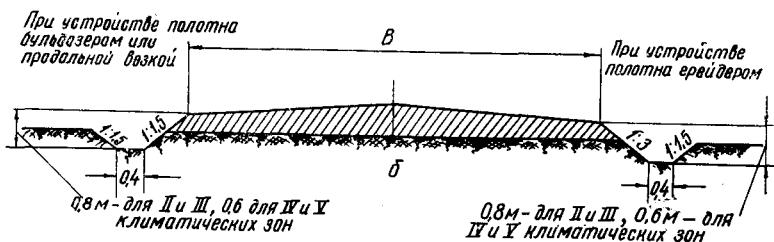
## ТИПОВЫЕ ПОПЕРЕЧНЫЕ ПРОФИЛИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

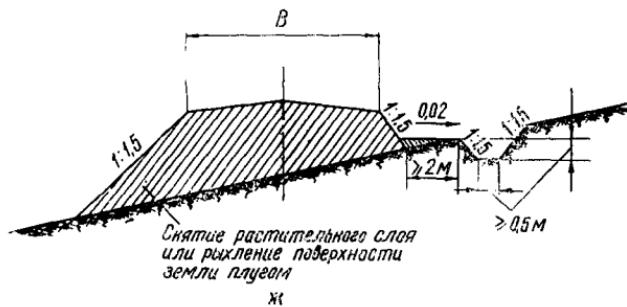
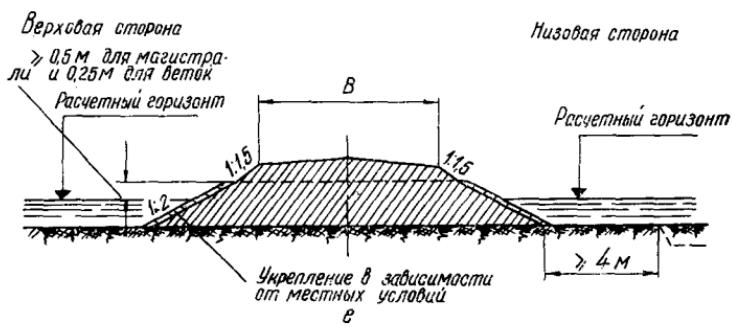
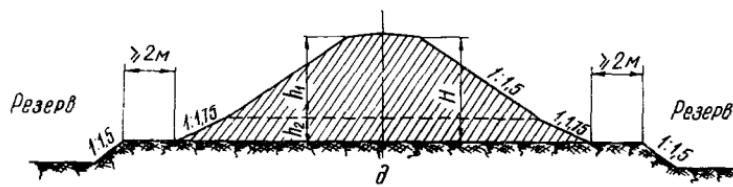
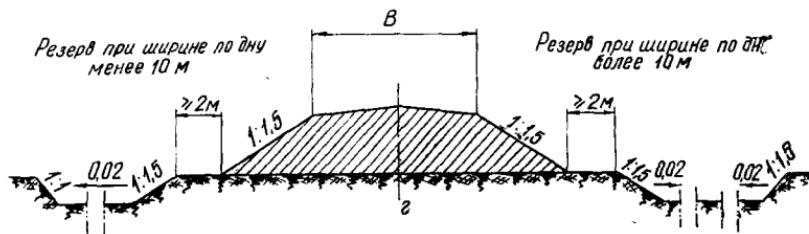
Наименования профилей лесовозных дорог и условия их применения:

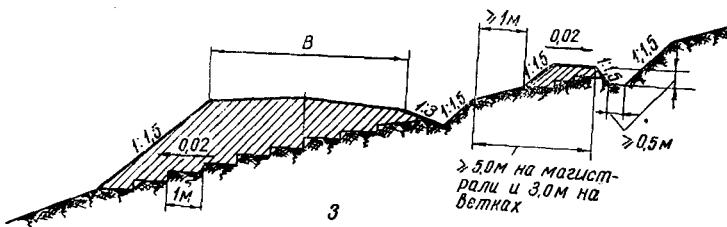
*a* — насыпь в песчаных и супесчаных грунтах высотою до 0,5 м. В гравелистых и щебеночных грунтах кюветы принимаются 0,2 м; *b* — насыпи в глинистых, суглинистых и пылеватых грунтах высотою до 0,8 м; *c* — насыпи высотою от 0,5 до 1,0 м в песчаных, супесчаных и высотою от 1 до 10 м при отсыпке из гравия, щебня, крупно- и среднезернистых песков и высотой от 1 до 6 м при отсыпке из прочных грунтов; *d* — насыпь высотой до 12 м; *e* — подтопленная насыпь; *ж* — насыпь без разреза на косогорах с уклоном от 1 : 10 до 1 : 5; *з* — насыпь на косогорах с уклоном более 1 : 5; *и* — выемки с кавальером; *к* — выемка на косогоре с уклоном 1 : 5; *л* — выемка в скальных грунтах; *м* — насыпь на крутых косогорах с устройством банкета; *н* — насыпь с подпорной стенкой; *п* — выемка без кавальера



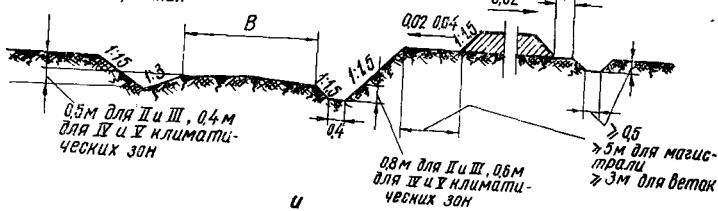
0,5 м для II и III, 0,4 для IV и V климатических зон





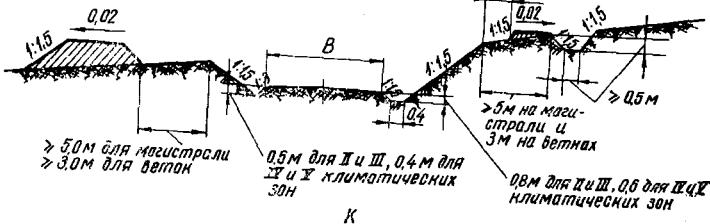


Кюветы в песчаных и супесчаных грунтах



Кюветы в суглинистых, глинистых и пылеватых ерзинах  $> 1m$  в незаносимых местах,  $0.5m$  - в заносимых

Кюветы в песчаных и супесчаных грунтах

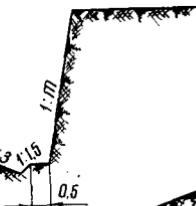


Кюветы в суглинистых, глинистых и пылеватых ерзинах

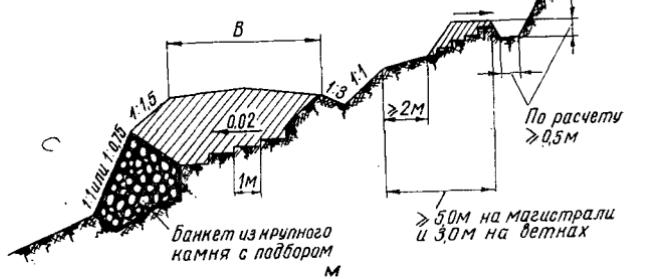
*В сладо выветривающейся скале*



*В выветривающейся скале*



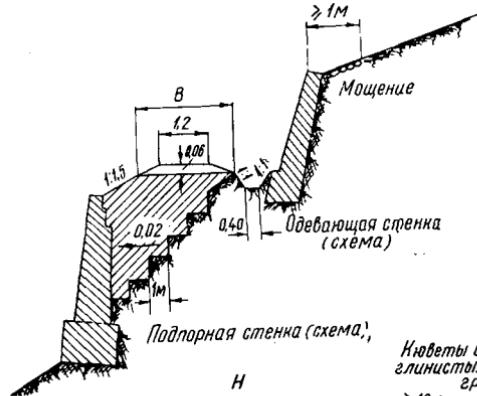
L



По расчету  
≥ 0,5 м

> 5,0 м на магистрали  
и 3,0 м на ветках

M



Мощение

Одеявающая стена  
(схема)

Подпорная стена (схема),

H

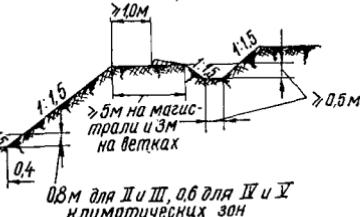
*Кюветы в песчаных  
и супесчаных грунтах*



0,5 м для II и III, 0,4 для  
IV и V климатических  
зон

П

*Кюветы в суглинистых,  
глинистых и полегледевых  
грунтах*



0,8 м для II и III, 0,6 для IV и V  
климатических зон

## Приложение 4

### Дорожная классификация грунтов

#### А. Глинистые грунты

Наименование видов глинистых грунтов	Наименование разновидностей глинистых грунтов	число пластичности	Показатели		
			содержание песчаных частиц размер частиц, мм	содержание по весу, %	
Супесь	легкая крупная	1—7	2,0—0,25	более 50	
	легкая	1—7	2,0—0,05	более 50	
	пылеватая	1—7	2,0—0,05	20—50	
	тяжелая пылеватая	1—7	2,0—0,05	менее 20	
Суглинок	легкий	7—12	2,0—0,05	более 40	
	легкий пылеватый	7—12	2,0—0,05	менее 40	
	тяжелый	12—17	2,0—0,05	более 40	
	тяжелый пылеватый	12—17	2,0—0,05	менее 40	
Глина	песчанистая	17—27	2,0—0,05	более 40	
	пылеватая (полужирная)	17—27	2,0—0,05	не нормируется	
	жирная	более 27	2,0—0,05	не нормируется	

Примечание. При содержании частиц крупнее 2 мм в количестве 20—50% наименование грунта пополняется словом «гравелистый» при окаченных частицах и «щебенистый» при остроребристых, неокатанных частицах.

#### Б. Несцементированные обломочные грунты

Наименование видов несцементированных обломочных грунтов	Распределение частиц по крупности	
	размер частиц, мм	содержание частиц, % от веса сухого грунта
Крупнообломочные Грунт щебенистый (при преобладании окатанных частиц — галечниковый)	крупнее 10	более 50

*Продолжение*

Наименование видов несцементированных обломочных грунтов	Распределение частиц по крупности	
	размер частиц, мм	содержание частиц, % от веса сухого грунта
Грунт дресвяный (при преобладании окатанных частиц — гравийный)	крупнее 2	более 50
Песчаные Песок гравелистый	крупнее 2	менее 50, но более 25
Песок крупный	крупнее 0,5	более 50
Песок средней крупности	крупнее 0,25	более 50
Песок мелкий	крупнее 0,1	более 75
Песок пылеватый	крупнее 0,1	менее 75

**П р и м е ч а н и е.** Для установления наименования грунта по таблице последовательно суммируются проценты содержания исследуемого грунта. Сначала крупнее 10 мм, затем крупнее 2 мм и т. д. Наименование принимается по первому удовлетворяющему показателю в порядке расположения наименований в таблице.

## Приложение 5

### Распределение грунтов по степени трудности разработки и их объемная масса, кг/м<sup>3</sup>

#### Первая категория

Гравий и галька мелкие, размером до 20 мм . . . . .	1700
Грунт растительного слоя без корней . . . . .	1200
Песок естественной влажности с примесью гальки, гравия или щебня в количестве до 20% . . . . .	1600
Суглинок легкий . . . . .	1600
Супесь без примесей и с примесью гравия, гальки или щебня . . . . .	1600—1900
Торф без корней . . . . .	600

#### Вторая категория

Глина жирная мягкая . . . . .	1800
Гравий и галька средние, размером до 40 мм . . . . .	1750
Грунт растительного слоя с корнями . . . . .	1200
Песок естественной влажности с примесью гальки, гравия и щебня в количестве до 40% по объему . . . . .	1600—1700
Суглинок легкий, лессовидный и тяжелый с примесью гравия, гальки или щебня в количестве до 10% . . . . .	1750—1900
Торф с корнями . . . . .	600
Щебень размером до 40 мм . . . . .	1750

#### Третья категория

Глина тяжелая и мягкая, ломовая и сланцевая, с примесью гравия, гальки и щебня, а также булыг в количестве до 10% от объема . . . . .	1950
Гравий и галька крупные, а также мелкие и средние с примесью булыг весом до 10 кг . . . . .	1900—1950
Суглинок тяжелый с примесью булыг в количестве до 10% по объему . . . . .	1950
Щебень размером более 40 мм . . . . .	1950

#### Четвертая категория

Глина твердая карбонная кембрийская . . . . .	2000
Дресва . . . . .	1800
Конгломерат слабо сцементированный . . . . .	2000
Мел мягкий . . . . .	1550
Мергель мягкий . . . . .	1900
Морена с валунами при содержании их в количестве до 30% по объему . . . . .	2100
Сланцы выветрившиеся . . . . .	2000

### Пятая категория

Известняк мягкий, пористый трещиноватый, выветрившийся . . . . .	1200
Конгломерат из осадочных пород на глини- стом цементе . . . . .	2200
Коренные глубинные породы крупнозерни- стые, сильно выветрившиеся и дресвяные	2200—1600
Мел плотный . . . . .	2600
Мергель средней крепости . . . . .	2300
Песчаник выветрившийся . . . . .	2200
Ракушечник . . . . .	1200
Сланцы глинистые средней крепости и слабо выветрившиеся . . . . .	2300—2700

### Шестая—одиннадцатая категория

Скальные породы . . . . .	2200—3300
---------------------------	-----------

При мечание. При наличии в грунте булыг в ко-  
личестве 20—30% по объему категория грунта повыша-  
ется на одну ступень (за исключением морены). При  
наличии в грунте булыг в количестве более 30% по объ-  
ему грунт следует относить к V категории. При нали-  
чии в грунте корней категория грунта повышается на  
одну ступень.

## Перевод градусной меры в радианную

Градусы	Радианы (дуга)	Градусы	Радианы (дуга)	Градусы	Радианы (дуга)	Минуты	Радианы (дуга)	Минуты	Радианы (дуга)
0	0,0000	35	0,6109	70	1,2217	0	0,0000	30	0,0087
1	0,0175	36	0,6283	71	1,2392	1	0,0003	31	0,0090
2	0,0349	37	0,6458	72	1,2566	2	0,0006	32	0,0093
3	0,0524	38	0,6632	73	1,2741	3	0,0009	33	0,0096
4	0,0698	39	0,6807	74	1,2915	4	0,0012	34	0,0099
5	0,0873	40	0,6981	75	1,3090	5	0,0015	35	0,0102
6	0,1047	41	0,7156	76	1,3265	6	0,0017	36	0,0105
7	0,1222	42	0,7330	77	1,3439	7	0,0020	37	0,0108
8	0,1396	43	0,7505	78	1,3614	8	0,0023	38	0,0111
9	0,1571	44	0,7679	79	1,3788	9	0,0026	39	0,0113
10	0,1745	45	0,7854	80	1,3963	10	0,0029	40	0,0116
11	0,1920	46	0,8029	81	1,4137	11	0,0032	41	0,0119
12	0,2094	47	0,8203	82	1,4312	12	0,0035	42	0,0122
13	0,2269	48	0,8378	83	1,4486	13	0,0038	43	0,0125
14	0,2443	49	0,8552	84	1,4661	14	0,0041	44	0,0128
15	0,2618	50	0,8727	85	1,4835	15	0,0044	45	0,0131
16	0,2793	51	0,8901	86	1,5010	16	0,0047	46	0,0134
17	0,2967	52	0,9076	87	1,5184	17	0,0049	47	0,0137
18	0,3142	53	0,9250	88	1,5359	18	0,0052	48	0,0140
19	0,3316	54	0,9425	89	1,5533	19	0,0055	49	0,0143
20	0,3491	55	0,9599	90	1,5708	20	0,0058	50	0,0145
21	0,3665	56	0,9774	91	1,5882	21	0,0061	51	0,0148
22	0,3840	57	0,9948	92	1,6057	22	0,0064	52	0,0151
23	0,4014	58	1,0123	93	1,6232	23	0,0067	53	0,0154
24	0,4189	59	1,0297	94	1,6406	24	0,0070	54	0,0157
25	0,4363	60	1,0472	95	1,6581	25	0,0073	55	0,0160
26	0,4538	61	1,0647	96	1,6755	26	0,0076	56	0,0163
27	0,4712	62	1,0821	97	1,6930	27	0,0079	57	0,0166
28	0,4887	63	1,0996	98	1,7104	28	0,0081	58	0,0169
29	0,5061	64	1,1170	99	1,7279	29	0,0084	59	0,0172
30	0,5286	65	1,1345	100	1,7453				
31	0,5411	66	1,1519	180	3,1416				
32	0,5585	67	1,1694	200	3,4907				
33	0,5760	68	1,1868	300	5,2360				
34	0,5934	69	1,2043	360	6,2802				

# Приложение 7

## Перевод радианной меры в градусную

Радианы	Градусы и минуты	Радианы	Градусы и минуты	Радианы	Градусы и минуты	Радианы	Минуты	Радианы	Минуты
1	57°18'	0,1	5°44'	0,01	0°34'	0,001	0°03'	0,0001	0°00'
2	114°35'	0,2	11°28'	0,02	1°09'	0,002	0°07'	0,0002	0°01'
3	171°53'	0,3	17°11'	0,03	1°43'	0,003	0°10'	0,0003	0°01'
4	229°11'	0,4	22°55'	0,04	2°18'	0,004	0°14'	0,0004	0°01'
5	286°29'	0,5	28°39'	0,05	2°52'	0,005	0°17'	0,0005	0°02'
6	343°46'	0,6	34°23'	0,06	3°26'	0,006	0°21'	0,0006	0°02'
7	401°04'	0,7	40°06'	0,07	4°01'	0,007	0°24'	0,0007	0°02'
8	458°22'	0,8	45°50'	0,08	4°35'	0,008	0°28'	0,0008	0°03'
9	515°40'	0,9	51°34'	0,09	5°09'	0,009	0°31'	0,0009	0°03'

**Тригонометрические функции при изменении аргумента в промежутке  
от 0 до 6,28 радиан**

Аргумент $x$	Тригонометрические функции					
	$\sin x$	$\cos x$	$\operatorname{tg} x$	$\operatorname{ctg} x$	$\sec x$	$\operatorname{cosec} x$
0,00	0,0000	1,0000	0,0000	—	1,0000	—
0,01	0,0100	1,0000	0,0100	100,00	1,0001	100,00
0,02	0,0200	0,9998	0,0200	49,99	1,0002	50,00
0,03	0,0300	0,9996	0,0300	33,32	1,0005	33,34
0,04	0,0400	0,9992	0,0400	24,99	1,0008	25,01
0,05	0,0500	0,9988	0,0500	19,98	1,0013	20,01
0,06	0,0600	0,9982	0,0601	16,65	1,0018	16,68
0,07	0,0699	0,9976	0,0701	14,26	1,0025	14,30
0,08	0,0799	0,9968	0,0802	12,47	1,0032	12,51
0,09	0,0899	0,9960	0,0902	11,08	1,0041	11,13
0,10	0,0998	0,9950	0,1003	9,970	1,0050	10,02
0,11	0,1098	0,9940	0,1104	9,054	1,0061	9,109
0,12	0,1197	0,9928	0,1206	8,293	1,0072	8,353
0,13	0,1296	0,9916	0,1307	7,649	1,0085	7,714
0,14	0,1395	0,9902	0,1409	7,096	1,0099	7,166
0,15	0,1494	0,9888	0,1511	6,617	1,0114	6,692
0,16	0,1593	0,9872	0,1614	6,197	1,0129	6,277
0,17	0,1692	0,9856	0,1717	5,826	1,0146	5,911
0,18	0,1790	0,9838	0,1820	5,495	1,0164	5,586
0,19	0,1889	0,9820	0,1923	5,200	1,0183	5,295
0,20	0,1987	0,9801	0,2027	4,933	1,0203	5,033
0,21	0,2085	0,9780	0,2131	4,692	1,0225	4,797
0,22	0,2182	0,9759	0,2236	4,472	1,0247	4,582
0,23	0,2280	0,9737	0,2341	4,271	1,0270	4,386
0,24	0,2377	0,9713	0,2447	4,086	1,0295	4,207
0,25	0,2474	0,9689	0,2553	3,916	1,0321	4,042
0,26	0,2571	0,9664	0,2660	3,759	1,0348	3,890
0,27	0,2667	0,9638	0,2768	3,613	1,0376	3,749
0,28	0,2764	0,9611	0,2876	3,478	1,0405	3,619
0,29	0,2860	0,9582	0,2984	3,351	1,0436	3,497
0,30	0,2955	0,9553	0,3093	3,233	1,0468	3,384

Аргумент $x$	Тригонометрические функции					
	$\sin x$	$\cos x$	$\operatorname{tg} x$	$\operatorname{ctg} x$	$\sec x$	$\operatorname{cosec} x$
0,31	0,3051	0,9523	0,3203	3,1218	1,0501	3,2781
0,32	0,3146	0,9492	0,3314	3,0176	1,0535	3,1790
0,33	0,3240	0,9460	0,3425	2,9195	1,0570	3,0860
0,34	0,3335	0,9428	0,3537	2,8270	1,0607	2,9986
0,35	0,3429	0,9394	0,3650	2,7395	1,0645	2,9163
0,36	0,3523	0,9359	0,3764	2,6567	1,0685	2,8387
0,37	0,3616	0,9323	0,3879	2,5782	1,0726	2,7654
0,38	0,3709	0,9287	0,3994	2,5037	1,0768	2,6960
0,39	0,3802	0,9249	0,4111	2,4328	1,0812	2,6303
0,40	0,3894	0,9211	0,4228	2,3652	1,0857	2,5679
0,41	0,3986	0,9171	0,4346	2,3008	1,0904	2,5087
0,42	0,4078	0,9131	0,4466	2,2393	1,0952	2,4524
0,43	0,4169	0,9090	0,4586	2,1804	1,1002	2,3988
0,44	0,4259	0,9048	0,4708	2,1241	1,1053	2,3478
0,45	0,4350	0,9004	0,4831	2,0702	1,1106	2,2990
0,46	0,4439	0,8961	0,4954	2,0184	1,1160	2,2525
0,47	0,4529	0,8916	0,5080	1,9686	1,1216	2,2081
0,48	0,4618	0,8870	0,5206	1,9208	1,1274	2,1655
0,49	0,4706	0,8823	0,5334	1,8748	1,1334	2,1248
0,50	0,4794	0,8776	0,5463	1,8305	1,1395	2,0858
0,51	0,4882	0,8727	0,5594	1,7878	1,1458	2,0484
0,52	0,4969	0,8678	0,5726	1,7465	1,1523	2,0126
0,53	0,5055	0,8628	0,5859	1,7067	1,1590	1,9781
0,54	0,5141	0,8577	0,5994	1,6683	1,1659	1,9450
0,55	0,5227	0,8525	0,6131	1,6310	1,1730	1,9132
0,56	0,5312	0,8473	0,6269	1,5950	1,1803	1,8826
0,57	0,5396	0,8419	0,6410	1,5601	1,1878	1,8531
0,58	0,5480	0,8365	0,6552	1,5263	1,1955	1,8247
0,59	0,5564	0,8309	0,6696	1,4935	1,2035	1,7974
0,60	0,5646	0,8253	0,6841	1,4617	1,2116	1,7710
0,61	0,5729	0,8196	0,6989	1,4308	1,2200	1,7456
0,62	0,5810	0,8139	0,7139	1,4007	1,2287	1,7211
0,63	0,5891	0,8080	0,7291	1,3715	1,2376	1,6974
0,64	0,5972	0,8021	0,7445	1,3431	1,2467	1,6745
0,65	0,6052	0,7961	0,7602	1,3154	1,2561	1,6524

Аргумент $x$	Тригонометрические функции					
	$\sin x$	$\cos x$	$\operatorname{tg} x$	$\operatorname{ctg} x$	$\sec x$	$\operatorname{cosec} x$
0,66	0,6131	0,7900	0,7761	1,2885	1,2658	1,6310
0,67	0,6210	0,7838	0,7923	1,2622	1,2758	1,6103
0,68	0,6288	0,7776	0,8087	1,2366	1,2861	1,5903
0,69	0,6365	0,7712	0,8253	1,2116	1,2966	1,5710
0,70	0,6442	0,7648	0,8423	1,1872	1,3075	1,5523
0,71	0,6518	0,7584	0,8595	1,1634	1,3186	1,5341
0,72	0,6594	0,7518	0,8771	1,1402	1,3301	1,5166
0,73	0,6669	0,7452	0,8949	1,1174	1,3420	1,4995
0,74	0,6743	0,7385	0,9131	1,0952	1,3542	1,4830
0,75	0,6816	0,7317	0,9316	1,0734	1,3667	1,4671
0,76	0,6889	0,7248	0,9505	1,0521	1,3796	1,4515
0,77	0,6961	0,7179	0,9697	1,0313	1,3929	1,4365
0,78	0,7033	0,7109	0,9893	1,0109	1,4066	1,4219
0,79	0,7104	0,7038	1,0092	0,9908	1,4208	1,4078
0,80	0,7174	0,6967	1,0296	0,9712	1,4353	1,3940
0,81	0,7243	0,6895	1,0505	0,9520	1,4503	1,3807
0,82	0,7311	0,6822	1,0717	0,9331	1,4658	1,3677
0,83	0,7379	0,6749	1,0934	0,9146	1,4818	1,3551
0,84	0,7449	0,6675	1,1156	0,8964	1,4982	1,3429
0,85	0,7513	0,6600	1,1383	0,8785	1,5152	1,3311
0,86	0,7578	0,6524	1,1616	0,8609	1,5327	1,3195
0,87	0,7643	0,6448	1,1853	0,8437	1,5508	1,3083
0,88	0,7707	0,6372	1,2097	0,8267	1,5695	1,2975
0,89	0,7771	0,6294	1,2346	0,8100	1,5888	1,2869
0,90	0,7833	0,6216	1,2602	0,7936	1,6087	1,2766
0,91	0,7895	0,6137	1,2864	0,7774	1,6293	1,2666
0,92	0,7956	0,6058	1,3133	0,7615	1,6507	1,2569
0,93	0,8016	0,5978	1,3409	0,7458	1,6727	1,2475
0,94	0,8076	0,5898	1,3692	0,7303	1,6955	1,2383
0,95	0,8134	0,5817	1,3984	0,7151	1,7191	1,2294
0,96	0,8192	0,5735	1,4284	0,7001	1,7436	1,2207
0,97	0,8249	0,5653	1,4592	0,6853	1,7690	1,2123
0,98	0,8305	0,5570	1,4910	0,6707	1,7953	1,2041
0,99	0,8360	0,5487	1,5237	0,6563	1,8225	1,1961
1,00	0,8415	0,5403	1,5574	0,6421	1,8508	1,1884

Аргумент $x$	Тригонометрические функции					
	$\sin x$	$\cos x$	$\operatorname{tg} x$	$\operatorname{ctg} x$	$\sec x$	$\operatorname{cosec} x$
1,10	0,8912	0,4536	1,9648	0,5090	2,2046	1,1221
1,20	0,9320	0,3624	2,5722	0,3888	2,7597	1,0729
1,30	0,9636	0,2675	3,602	0,2776	3,738	1,0378
1,40	0,9854	0,1700	5,798	0,1725	5,883	1,0148
1,50	0,9975	0,0707	14,10	0,0709	14,14	1,0025
1,57	1,0000	0,0008	1255,8	0,0008	1255,8	1,0000
1,60	0,9996	-0,0292	-34,23	-0,0292	-34,246	1,0004
1,70	0,9917	-0,1288	-7,699	-0,1299	-7,764	1,0083
1,80	0,9738	-0,2272	-4,286	-0,2333	-4,4014	1,0269
1,90	0,9463	-0,3233	-2,927	-0,3416	-3,0931	1,0567
2,00	0,9093	-0,4161	-2,1853	-0,4576	-2,4032	1,0997
2,10	0,8632	-0,5048	-1,7102	-0,5848	-1,9669	1,1585
2,20	0,8085	-0,5885	-1,3738	-0,7279	-1,6992	1,2368
2,30	0,7457	-0,6663	-1,1192	-0,8935	-1,5008	1,3410
2,40	0,6755	-0,7374	-0,9161	-1,0916	-1,3561	1,4804
2,50	0,5985	-0,8011	-0,7471	-1,3385	-1,2483	1,6708
2,60	0,5155	-0,8569	-0,1600	-1,6623	-1,1670	1,9398
2,70	0,4274	-0,9041	-0,4727	-2,1153	-1,1061	2,3397
2,80	0,3350	-0,9422	-0,3555	-2,8125	-1,0613	2,9851
2,90	0,2392	-0,9710	-0,2463	-4,0593	-1,0299	4,1806
3,00	0,1411	-0,9900	-0,1425	-7,0163	-1,0101	7,0871
3,10	0,0416	-0,9991	-0,0416	-24,0168	-1,0009	24,0384
3,20	-0,0584	-0,9983	0,0585	17,0942	-1,0017	-17,1233
3,30	-0,1577	-0,9875	0,1597	6,2618	-1,0126	-6,3411
3,40	-0,2555	-0,9668	0,2643	3,7839	-1,0343	-3,9139
3,50	-0,3508	-0,9365	0,3746	2,6696	-1,0678	-2,8506
3,60	-0,4425	-0,8968	0,4934	2,0266	-1,1151	-2,2599
3,70	-0,5298	-0,8481	0,6247	1,6008	-1,1791	-1,8875
3,80	-0,6119	-0,7910	0,7736	1,2927	-1,2642	-1,6342
3,90	-0,6878	-0,7259	0,9475	1,0557	-1,3776	-1,4539
4,00	-0,7568	-0,6535	1,1580	0,8635	-1,5302	-1,3213
4,10	-0,8183	-0,5748	1,4236	0,7024	-1,7397	-1,2220
4,20	-0,8716	-0,4903	1,7776	0,5625	-2,0396	-1,1473

Аргумент $x$	Тригонометрические функции					
	$\sin x$	$\cos x$	$\operatorname{tg} x$	$\operatorname{ctg} x$	$\sec x$	$\operatorname{cosec} x$
4,30	-0,9162	-0,4008	2,2859	0,4374	- 2,4950	-1,0914
4,40	-0,9516	-0,3073	3,0966	0,3229	- 3,2541	-1,0508
4,50	-0,9775	-0,2108	4,6370	0,2156	- 4,7438	-1,0230
4,60	-0,9937	-0,1122	8,8565	0,1129	- 8,9126	-1,0063
4,70	-0,9999	-0,0124	80,6371	0,0124	-80,6451	-1,0001
4,80	-0,9962	0,0875	-11,3851	-0,08783	11,4286	-1,0038
4,90	-0,9825	0,1865	- 5,2681	-0,1898	5,3619	-1,0178
5,00	-0,9589	0,2837	- 3,3780	-0,2960	3,5248	-1,0428
5,10	-0,9258	0,3780	- 2,4492	-0,4083	2,6455	-1,0801
5,20	-0,8835	0,4685	- 1,8858	-0,5303	2,1345	-1,1318
5,30	-0,8323	0,5544	- 1,5022	-0,6657	1,8037	-1,2015
5,40	-0,7728	0,6347	- 1,2176	-0,8213	1,5755	-1,2940
5,50	-0,7055	0,7087	- 0,9955	-1,0045	1,4110	-1,4174
5,60	-0,6313	0,7756	- 0,8139	-1,2286	1,2893	-1,5833
5,70	-0,5507	0,8347	- 0,6598	-1,5156	1,1980	-1,8158
5,80	-0,4646	0,8855	- 0,5247	-1,9058	1,1293	-2,1524
5,90	-0,3739	0,9275	- 0,4031	-2,4807	1,0782	-2,6745
6,00	-0,2794	0,9602	- 0,2910	-3,4364	1,0414	-3,5791
6,10	-0,1822	0,9833	- 0,1853	-5,3966	1,0170	-5,4885
6,20	-0,0831	0,9965	- 0,0834	-11,9904	1,0035	-12,0336
6,28	0,0000	1,0000	0,0000	$\infty$	1,0000	$\infty$

Логарифмы чисел

<i>n</i>	$\lg n$								
1	0,000	51	1,708	101	2,004	151	2,179	201	2,303
2	0,301	52	1,716	102	2,009	152	2,182	202	2,305
3	0,477	53	1,724	103	2,013	153	2,185	203	2,307
4	0,602	54	1,732	104	2,017	154	2,188	204	2,310
5	0,699	55	1,740	105	2,021	155	2,190	205	2,312
6	0,778	56	1,748	106	2,025	156	2,193	206	2,314
7	0,845	57	1,756	107	2,029	157	2,196	207	2,316
8	0,903	58	1,763	108	2,033	158	2,199	208	2,318
9	0,954	59	1,771	109	2,037	159	2,201	209	2,320
10	1,000	60	1,778	110	2,041	160	2,204	210	2,322
11	1,041	61	1,785	111	2,045	161	2,207	211	2,324
12	1,079	62	1,792	112	2,049	162	2,210	212	2,326
13	1,114	63	1,799	113	2,053	163	2,212	213	2,328
14	1,146	64	1,806	114	2,057	164	2,215	214	2,330
15	1,176	65	1,813	115	2,061	165	2,217	215	2,332
16	1,204	66	1,820	116	2,064	166	2,220	216	2,334
17	1,230	67	1,826	117	2,068	167	2,223	217	2,336
18	1,255	68	1,833	118	2,072	168	2,225	218	2,338
19	1,279	69	1,839	119	2,076	169	2,228	219	2,340
20	1,301	70	1,846	120	2,079	170	2,230	220	2,342
21	1,322	71	1,851	121	2,083	171	2,233	221	2,344
22	1,342	72	1,857	122	2,086	172	2,336	222	2,346
23	1,362	73	1,863	123	2,090	173	2,338	223	2,348
24	1,380	74	1,869	124	2,093	174	2,241	224	2,350
25	1,398	75	1,875	125	2,097	175	2,243	225	2,352
26	1,415	76	1,881	126	2,100	176	2,246	226	2,354
27	1,431	77	1,886	127	2,104	177	2,248	227	2,356
28	1,447	78	1,892	128	2,107	178	2,350	228	2,358
29	1,462	79	1,898	129	2,111	179	2,253	229	2,360
30	1,477	80	1,903	130	2,114	180	2,255	230	2,362
31	1,491	81	1,908	131	2,117	181	2,258	231	2,364
32	1,505	82	1,914	132	2,121	182	2,260	232	2,365
33	1,519	83	1,919	133	2,124	183	2,262	233	2,367
34	1,531	84	1,924	134	2,127	184	2,265	234	2,369
35	1,544	85	1,929	135	2,130	185	2,267	235	2,371
36	1,556	86	1,934	136	2,134	186	2,270	236	2,373
37	1,568	87	1,934	137	2,137	187	2,272	237	2,375
38	1,580	88	1,944	138	2,140	188	2,274	238	2,377
39	1,591	89	1,949	139	2,143	189	2,276	239	2,378
40	1,602	90	1,956	140	2,146	190	2,279	240	2,380
41	1,613	91	1,959	141	2,149	191	2,281	241	2,382
42	1,623	92	1,964	142	2,152	192	2,283	242	2,384
43	1,633	93	1,968	143	2,155	193	2,286	243	2,386
44	1,643	94	1,973	144	2,158	194	2,288	244	2,387
45	1,653	95	1,978	145	2,161	195	2,290	245	2,389
46	1,663	96	1,982	146	2,164	196	2,292	246	2,391
47	1,672	67	1,987	147	2,167	197	2,294	247	2,393
48	1,681	98	1,991	148	2,170	198	2,297	248	2,394
49	1,690	99	1,996	149	2,173	199	2,299	249	2,396
50	1,699	100	2,000	150	2,176	200	2,301	250	2,398

от 1 до 50

<i>n</i>	$\lg n$								
251	2,400	301	2,479	351	2,545	401	2,603	451	2,654
252	2,401	302	2,480	352	2,547	402	2,604	452	2,655
253	2,403	303	2,481	353	2,548	403	2,605	453	2,656
254	2,405	304	2,483	354	2,549	404	2,606	454	2,657
255	2,407	305	2,484	355	2,550	405	2,607	455	2,658
256	2,408	306	2,486	356	2,551	406	2,609	456	2,659
257	2,410	307	2,487	357	2,553	407	2,610	457	2,660
258	2,412	308	2,489	358	2,555	408	2,611	458	2,661
259	2,413	309	2,490	359	2,556	409	2,612	459	2,662
260	2,415	310	2,491	360	2,556	410	2,613	460	2,663
261	2,417	311	2,493	361	2,558	411	2,614	461	2,664
262	2,418	312	2,494	362	2,559	412	2,615	462	2,665
263	2,420	313	2,496	363	2,560	413	2,616	463	2,666
264	2,422	314	2,497	364	2,561	414	2,617	464	2,667
265	2,423	315	2,498	365	2,562	415	2,618	465	2,667
266	2,425	316	2,500	366	2,563	416	2,619	466	2,668
267	2,427	317	2,501	367	2,565	417	2,620	467	2,669
268	2,428	318	2,502	368	2,566	418	2,621	468	2,670
269	2,430	319	2,504	369	2,567	419	2,622	469	2,671
270	2,431	320	2,505	370	2,568	420	2,623	470	2,672
271	2,433	321	2,507	371	2,569	421	2,624	471	2,673
272	2,435	322	2,508	372	2,571	422	2,625	472	2,674
273	2,436	323	2,509	373	2,572	423	2,626	473	2,675
274	2,438	324	2,511	374	2,573	424	2,627	474	2,676
275	2,439	325	2,512	375	2,574	425	2,628	475	2,677
276	2,441	326	2,513	376	2,575	426	2,629	476	2,678
277	2,442	327	2,515	377	2,576	427	2,630	477	2,679
278	2,444	328	2,516	378	2,577	428	2,631	478	2,679
279	2,446	329	2,517	379	2,579	429	2,632	479	2,680
280	3,447	330	2,519	380	2,580	430	2,633	480	2,681
281	2,449	331	2,520	381	2,581	431	2,634	481	2,682
282	2,450	332	2,521	382	2,582	432	2,635	482	2,683
283	2,450	333	2,522	383	2,583	433	2,636	483	2,684
284	2,453	334	2,524	384	2,584	434	2,637	484	2,685
285	2,455	335	2,525	385	2,585	435	2,638	485	2,686
286	2,456	336	2,526	386	2,587	436	2,639	486	2,687
287	2,458	337	2,528	387	2,588	437	2,640	487	2,688
288	2,459	338	2,529	388	2,589	438	2,641	488	2,689
289	2,461	339	2,530	389	2,590	439	2,642	489	2,689
290	2,462	340	2,531	390	2,591	440	2,643	490	2,690
291	2,464	341	2,533	391	2,592	441	2,644	491	2,690
292	2,465	342	2,534	392	2,593	442	2,645	492	2,692
293	2,467	343	2,535	393	2,594	443	2,646	493	2,693
294	2,468	344	2,537	394	2,595	444	2,647	494	2,694
295	2,470	345	2,538	395	2,597	445	2,648	495	2,695
296	2,471	346	2,539	396	2,598	446	2,649	496	2,695
297	2,473	347	2,540	397	2,599	447	2,650	497	2,696
298	2,474	348	2,542	398	2,600	448	2,651	498	2,697
299	2,476	349	2,543	399	2,601	449	2,652	499	2,698
300	2,477	350	2,544	400	2,602	450	2,653	500	2,699

*Иван Иосифович Леонович*

**АВТОМОБИЛЬНЫЕ ЛЕСОВОЗНЫЕ ДОРОГИ**

Редактор *Н. М. Акалович*

Худож. редактор *В. Н. Валентович*

Техн. редактор *М. Н. Кислякова*

Корректоры *С. Ю. Липец, С. А. Быстрицкая*

---

АТ 02718. Сдано в набор 25/VII 1964 г. Подписано  
к печати 27/I 1965 г. Тираж 11300 экз.

Бумага 60 × 90<sub>16</sub>. Печ. л. 24,75+16 кл.

Уч.-изд. л. 21,65. Изд. № 1001. Заказ 381.

Цена 91 коп.

---

Издательство «Высшая школа»

Государственного комитета Совета Министров

БССР по печати

Минск, Кирова, 24.

\* \* \*

Типография издательства «Звезды»

Минск, Ленинский проспект, 79.