

А. А. ЖАБРОВ

# КАК И ПОЧЕМУ ЛЕТАЕТ ПЛАНЕР

2 издание

*исправленное и дополненное*

1578/5.

ГОИТ ИКТИ  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
НАУЧНО-ПОПУЛЯРНОЙ И ЮНОШЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ  
МОСКВА 1938 ЛЕНИНГРАД

## Оглавление

|                                                                    | Стр. |
|--------------------------------------------------------------------|------|
| <b>Предисловие</b> . . . . .                                       | 5    |
| <b>Глава I. Краткий исторический очерк</b>                         |      |
| Планеры Лилиенталя . . . . .                                       | 7    |
| Планеры Шанюта и бр. Райт . . . . .                                | 14   |
| Первые послевоенные планеры и развитие планеризма . . . . .        | 18   |
| Современные планеры . . . . .                                      | 25   |
| <b>Глава II. Движение в воздухе</b>                                |      |
| Воздух и воздушные течения . . . . .                               | 35   |
| Закон Бернулли . . . . .                                           | 41   |
| Закон сопротивления воздуха . . . . .                              | 43   |
| Движение в воздухе пластинки и крыла . . . . .                     | 49   |
| Подъемная сила крыла . . . . .                                     | 58   |
| <b>Глава III. Почему взлетает и летит планер</b>                   |      |
| Почему взлетает воздушный змей . . . . .                           | 62   |
| Почему взлетает и летит самолет . . . . .                          | 65   |
| Почему взлетает планер . . . . .                                   | 67   |
| Почему планер летит . . . . .                                      | 70   |
| <b>Глава IV. Устройство планера</b>                                |      |
| Главные части планера и их назначение . . . . .                    | 73   |
| Органы управления планера . . . . .                                | 84   |
| Приборы на планере . . . . .                                       | 88   |
| <b>Глава V. Устойчивость планера и действие органов управления</b> |      |
| Общее понятие об устойчивости . . . . .                            | 91   |
| Что такое устойчивость планера . . . . .                           | 94   |
| Поперечная устойчивость планера и действие элеронов . . . . .      | 99   |

|                                                                                         | Стр. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| <i>Продольная устойчивость планера и действие стабилизатора и руля высоты . . . . .</i> | 103  |
| <i>Устойчивость пути планера и действие килля и руля поворотов . . . . .</i>            | 110  |
| <b>Глава VI. Полет на планере</b>                                                       |      |
| <i>Запуск и взлет планера . . . . .</i>                                                 | 113  |
| <i>Полет по прямой и с разворотами . . . . .</i>                                        | 121  |
| <i>Посадка . . . . .</i>                                                                | 128  |
| <b>Глава VII. Парящий полет на планере в потоках обтекания</b>                          |      |
| <i>Что такое парящий полет . . . . .</i>                                                | 131  |
| <i>Динамические восходящие потоки или потоки обтекания . . . . .</i>                    | 134  |
| <i>Условия, необходимые для парящего полета на планере . . . . .</i>                    | 139  |
| <b>Глава VIII. Техника парящего полета в потоках обтекания</b>                          |      |
| <i>Местоположение старта и взлет в зону потока . . . . .</i>                            | 143  |
| <i>Полет в потоках обтекания и набор высоты . . . . .</i>                               | 147  |
| <i>Спуск и посадка на гору . . . . .</i>                                                | 154  |
| <b>Глава IX. Полет на планере в термиках</b>                                            |      |
| <i>Термики и особенности полета в них . . . . .</i>                                     | 157  |
| <i>Термики кучевых облаков . . . . .</i>                                                | 164  |
| <i>Полет в термиках и с облаками . . . . .</i>                                          | 167  |
| <i>Полет с грозовым фронтом . . . . .</i>                                               | 172  |
| <b>Глава X. Фигурные полеты на планере</b>                                              |      |
| <i>Вираж, спираль, скольжение на крыло и пикирование . . . . .</i>                      | 174  |
| <i>Мертвая петля и переворот через крыло . . . . .</i>                                  | 185  |
| <i>Потеря скорости и штопор . . . . .</i>                                               | 188  |
| <b>Глава XI. Буксирный полет на планере</b>                                             |      |
| <i>Особенности буксирного полета и подготовки к нему . . . . .</i>                      | 193  |
| <i>Взлет планера на буксире у самолета . . . . .</i>                                    | 198  |
| <i>Полет на буксире . . . . .</i>                                                       | 201  |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Замечательные успехи советского планеризма, завоевавшего одно из первых мест в мире, естественно будят среди широчайших масс нашей молодежи все больший и больший интерес к планеру и планерному спорту. Не отстает в этом отношении и подрастающее поколение, еще не расставшееся со школьной скамьей.

К сожалению, наша литература по планеризму вообще необычайно бедна, юношеской же литературы по планеризму, можно прямо сказать, у нас нет. Случайные очерки агитационного и хроникального характера в счет не идут. Подросток, заинтересовавшийся планеризмом, хочет конкретных знаний. Он хочет знать как устроена эта необыкновенная машина, на которой без мотора люди летают, как птицы, хочет знать, почему и как она летает. Конкретные, хотя бы и элементарные, знания только и могут толкнуть наклонности и способности подростка к дальнейшему развитию, все равно — мечтает ли он стать пилотом или конструктором. И если эти способности окажутся таковы, что приведут его в планерную школу, то знания, которые он уже имеет, сослужат большую службу: они облегчат, ускорят, а, следовательно, и удешевят его обучение.

Интерес к планеризму в нашей стране сейчас неизмеримо возрос — в связи с тем мощным движением, которое охватило нашу трудящуюся молодежь, движением за то, чтобы в ближайшие годы *дать стране 150 000 летчиков!*

Планерный спорт является прекрасной школой для подготовки летчиков и несомненно, что для большинства будущих летчиков путь в авиационную школу пройдет через планерный кружок, станцию или школу.

Этой книгой автор поставил себе целью восполнить пробел как в нашей юношеской, так и в научно-популярной литературе по планеризму. В самой доступной и популярной форме (без формул) в ней изложены теория и техника полета на планере, а также его развитие и устройство. Чтобы облегчить и сделать нескучным чтение книги, текст иллюстрирован большим количеством фотоснимков, эскизов и схем. Сделать книжку полезной и в то же время достаточно доступной — вот задача, которую стремился разрешить автор. Удалось ли это ему — пусть судят сами молодые читатели.

**А. Ж.**

## ГЛАВА I

# КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

## ПЛАНЕРЫ ЛИЛИЕНТАЛЯ

В конце прошлого века человечество безуспешно билось над созданием летательного аппарата тяжелее воздуха. Воздушный шар, или аэростат, уже давно был изобретен, воздухоплаватели поднимались на нем уже на тысячи метров вверх, а построить летательный аппарат с крыльями, который, будучи тяжелее воздуха, мог бы подниматься и летать подобно птице, никак не удавалось. Такие машины пытались строить многие изобретатели, но хотя эти машины имели и крылья, и двигатель, и воздушный винт, напоминая собой современные самолеты, летать они не могли. В лучшем случае они кое-как отрывались от земли, но тотчас же теряли устойчивость, падали и ломались; таковы были, например, летательные машины инж. Максима в Англии, Адера во Франции, Ланглея в Америке и многие другие.

Почему эти попытки тогда ни к чему не приводили?

Во-первых, потому, что в то время техника была развита очень слабо, в частности техника моторостроения: легкий двигатель внутреннего сгорания — бензиновый мотор — только-только начинал свою

жизнь. Вторая и главная причина заключалась в том, что не только многие рядовые изобретатели, но даже выдающиеся ученые того времени очень мало знали о законах движения в воздухе — меньше, чем знают теперь наши школьники. Наука о летании тогда была еще в зачаточном состоянии. Летательные машины того времени с нашей современной точки зрения строились безграмотно: немудрено поэтому, что они оказывались неустойчивыми и плохо управляемыми.

Для того чтобы разрешить проблему летания на аппаратах тяжелее воздуха, нужен был другой путь. Нужно было сначала изучить воздушную стихию, законы движения в ней и приобрести опыт и знания.

Нужно было сначала овладеть каким-нибудь простейшим летательным аппаратом тяжелее воздуха, а потом уже идти дальше.

Вот этим путем и пошел талантливый немецкий инженер Отто Лилиенталь (1848—1896).

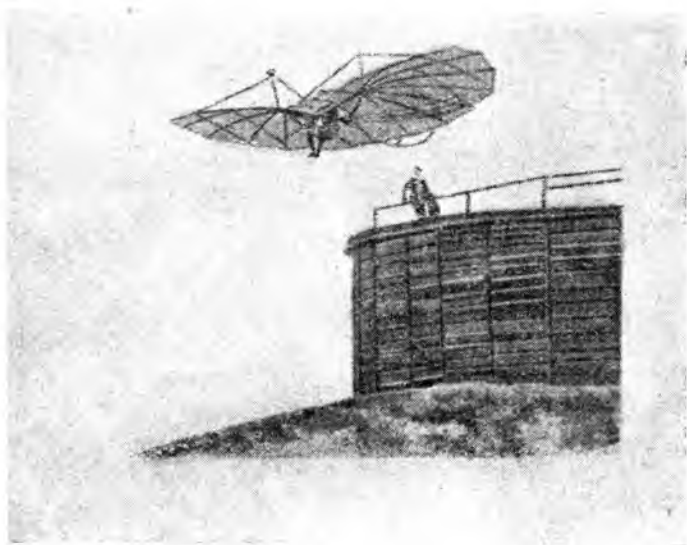
Изучая и наблюдая полет птиц, Лилиенталь пришел к заключению, что именно у птиц мы должны учиться искусству полета. Больше всего Лилиенталь интересовался полетом птиц в те моменты, когда они не машут крыльями, а плавно скользят на неподвижно распластанных крыльях или спускаясь по наклонной линии вниз, или взмывая вверх без затраты энергии. Не собираясь подражать птицам в так называемом гребном полете, т. е. в полете машущими крыльями, Лилиенталь совершенно правильно рассудил, что если птица может летать на неподвижных крыльях, то почему бы не летать подобным же образом и человеку?

После целого ряда лет упорной научно-экспериментальной работы Лилиенталь блестяще доказал на деле правильность своих рассуждений и показал человечеству путь к овладению воздушной стихией.

В своих опытах Лилиенталь не подражал слепо природе. Он долго и настойчиво изучал полет птиц и на основе этого выработал как форму крыльев своего аппарата, их кривизну и величину их по-

верхности, так и методику своих полетных опытов. Эти опыты, как всякое научное исследование, сопровождались целым рядом научных выкладок, вычислений и выводов.

Исследования Лилиенталя собраны в его классическом труде: «Полет птиц как основа искусства летать» (1889 г. Переведено на русский язык и издано в



Фиг. 1. Планер Лилиенталя (1890 г.).

1905 г.). Этой книгой Лилиенталь положил начало науке о летании.

Аппарат Лилиенталя, построенный в 1890 г., имел форму крыльев летучей мыши (фиг. 1). Каркас аппарата был сделан из ивовых прутьев и обшит навозным полотном. Площадь крыльев составляла 20 квадратных метров ( $\text{м}^2$ ), а весил аппарат около 20 килограммов ( $\text{кг}$ ).

Первые опыты на своем аппарате Лилиенталь производил с крыши построенного для этой цели сарая.

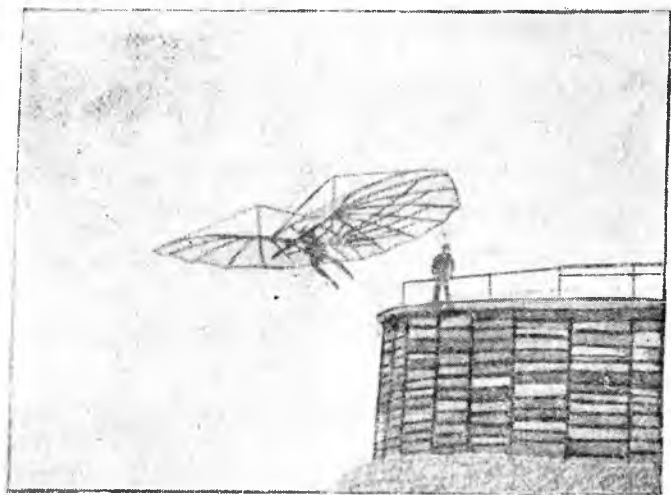
Держась руками за поперечную балку крыла



(фиг. 1), Лилиенталь разбежался против ветра и прыгал с сарая; в первый момент аппарат слегка взмывал вверх, а затем начинал плавно скользить по наклонной вниз (фиг. 2).

Каким же образом Лилиенталь сохранял равновесие аппарата в воздухе?

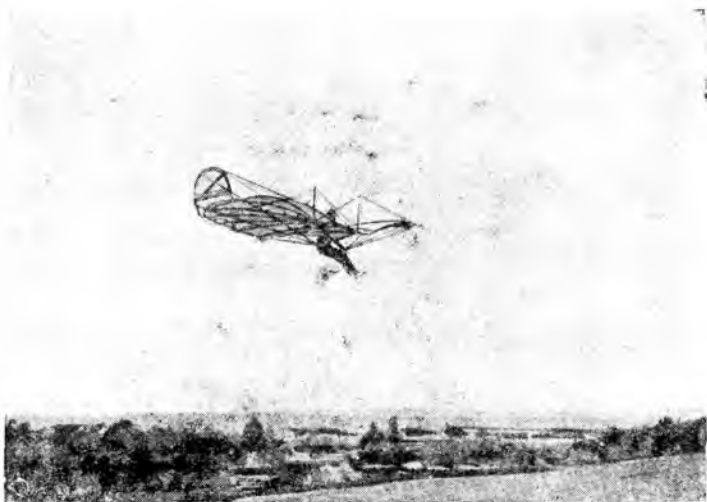
Устойчивость аппарата до некоторой степени до-



Фиг. 2. Планер Лилиенталья в полете. Балансирование телом для сохранения равновесия аппарата; при правом крене ноги вынесены влево.

стигалась автоматически благодаря наличию хвоста, состоящего из двух неподвижных, взаимно перпендикулярных плоскостей — горизонтальной и вертикальной (получивших позже название стабилизатора и кия). Но этого было недостаточно. Полное сохранение устойчивости аппарата в воздухе достигалось тем, что в полете Лилиенталь перемещал центр тяжести своего тела, а следовательно и всего аппарата: если аппарат начинал валиться влево, то пилот выносил ноги вправо, если аппарат валился вправо, то пилот выносил ноги влево

(фиг. 2). если аппарат стремился «клюнуть» носом, то пилот относил ноги назад, если же, наоборот, аппарат слишком поднимал нос, то Лилиенталь выносил ноги вперед (фиг. 3). Таким образом во всех этих случаях аппарат при опасности потерять равновесие послушно выравнивался благодаря остроумным маневрам, и только поэтому Лилиенталю удалось осу-

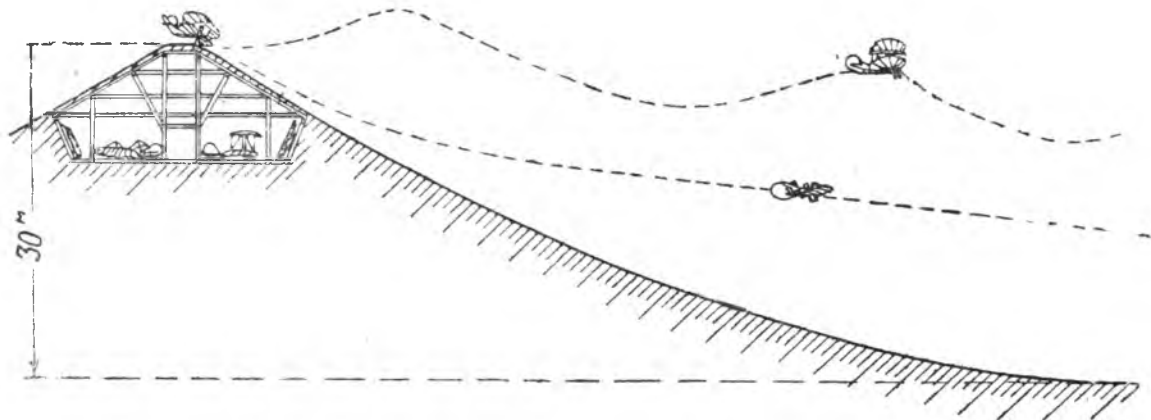


Фиг. 3. Планер Лилиенталья в полете. Положение тела пилота при приближении аппарата к земле

ществить первые в мире полеты на летательном аппарате тяжелее воздуха.

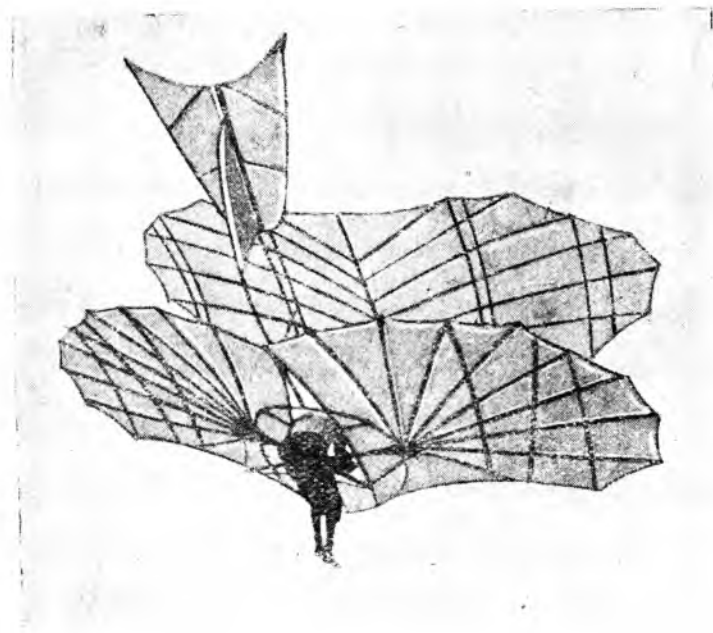
Аппарат Лилиенталья получил название планера. Равновесие на планере Лилиенталья достигалось благодаря перемещению тела пилота; планеры подобные аппарату Лилиенталья, получили в дальнейшем название балансирных планеров.

Для дальнейших своих опытов Лилиенталь выбрал небольшой холм (фиг. 4), имевший пологие склоны во все стороны, причем вершина холма была досыпана искусственно, как это хорошо видно на рисунке. Высота холма была 30 метров (м) над равниной.



Фиг. 4. Холм, с которого Лилиенталь совершал полеты в Гросс-Лихтерфельде. Вершина холма была досыпана искусственно и в ней было устроено помещение для хранения планеров.

Приобретя значительный опыт в полетах, Лилиенталь видоизменил свой планер-моноплан. К поддерживающей поверхности (т. е. к крыльям) он прибавил еще одну, создав таким образом прообраз будущих бипланов (фиг. 5). На этом аппарате Ли-



Фиг. 5. Планер-биплан Лилиенталья.

лиенталь делал скользящие полеты при ветре до 10 метров в секунду ( $\text{м/сек}$ ).

Для того чтобы увеличить дальность и продолжительность полетов, Лилиенталь перенес свои опыты в гористую местность. Здесь во время полетов при значительном ветре ему удавалось минутами держаться в воздухе, не снижаясь, т. е. парить. Для талантливого исследователя это не было неожиданностью; исходя из анализа полета птиц, Лилиенталь предвидел возможность длительного парящего полета

на планере и дал совершенно правильное объяснение его. С прозорливостью тонкого наблюдателя и большого ученого он первый высказал гениально простую мысль, что парящий полет (т. е. полет без взмахов крыльев) птицы осуществляют благодаря восходящим потокам воздуха.

Совершив больше тысячи скользящих полетов, Лилиенталь достиг большого искусства в управлении своим балансирным планером. Но балансирование телом — слишком недостаточное и ненадежное средство для сохранения устойчивости летательного аппарата в воздухе. Несоввершенство летательного аппарата и погубило Лилиенталь. В один из полетов при сильном ветре он не смог сохранить равновесие и упал, разбившись насмерть (9 августа 1896 г.).

Так трагически погиб этот гениальный исследователь, первый осуществивший полет на аппарате тяжелее воздуха, основоположник современной авиации

## **ПЛАНЕРЫ ШАНЮТА И БРАТЬЕВ РАЙТ**

К опытам Лилиенталья его современники относились скептически, рассматривая их как несерьезную забаву и не ожидая от коротеньких прыжков по воздуху на крыльях без двигателя никаких перспектив. Гибель Лилиенталья подорвала веру в его идеи даже у его недавних сторонников и последователей. Но наиболее талантливые и образованные из них пошли именно по пути, указанному Лилиенталем; это — Пильчер в Англии, Фербер во Франции, Шанют и братья Райт в Америке. Из них Пильчер тоже скоро погиб подобно Лилиенталю.

Значительно усовершенствовал планер Лилиентала инженер Шанют в Америке. Прежде всего он отказался от мало удобной формы крыльев летучей мыши и придал своему планеру форму коробки, в которой передняя, задняя и боковые стенки отсутствовали (фиг. 6). Далее, понимая, что для сохранения устойчивости балансирование ногами является ненадежным средством, он пытался создать систему ру-

лей, которые облегчили бы управление планером; в частности он предполагал, что перемещение тела пилота в стороны для сохранения поперечной устойчивости аппарата (что было самым трудным) можно заменить изменением в полете кривизны концов крыльев, но не смог это осуществить. Нетрудно ви-

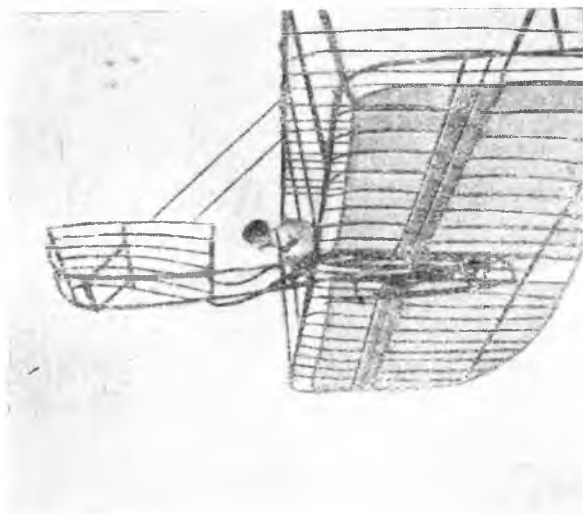


Фиг. 6. Планер Шанюта.

деть, что планер Шанюта — тоже балансирующий планер, правда, уже напоминающий по форме будущий самолет.

Братья Орвиль и Вильбур Райт в Америке после ряда опытов перешли от балансирующего к управляемому планеру, усовершенствовав планер Шанюта. Самой главной их заслугой является то, что они, кроме руля поворота, применили еще руль высоты, а для сохранения поперечной устойчивости —

искривление концов крыльев. Благодаря всему этому для сохранения устойчивости аппарата миновала надобность балансировать ногами, и пилот уже не висел на руках, а по-хозяйски располагался на самом аппарате (фиг. 7). Правда, поза пилота была не очень-то удобна, но все же был сделан огромный



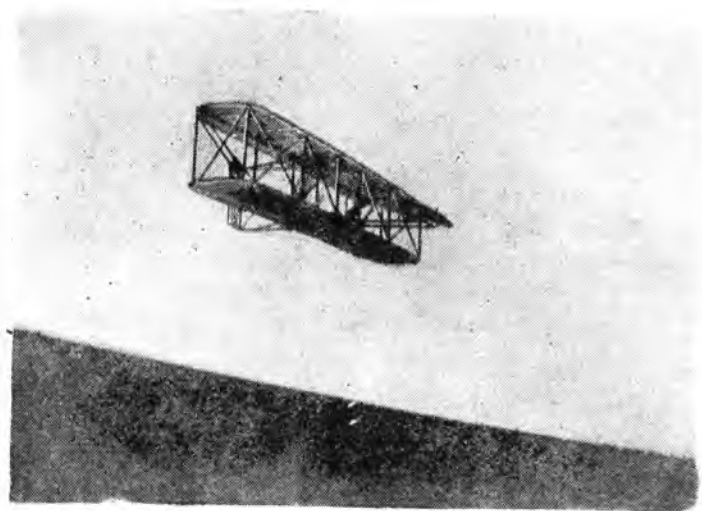
Фиг. 7. Положение пилота на планере бр. Райт.

шаг вперед по пути к вполне управляемому летательному аппарату тяжелее воздуха.

Запуск планера братьев Райт обычно производился при помощи двух помощников пилота, которые, держа планер за концы крыльев, пробегали с ним по склону против ветра несколько шагов и тем сообщали аппарату начальную скорость. Пилот управлял аппаратом, лежа на животе; к рукам его шли веревки от руля поворота, от руля высоты (впереди крыльев) и от концов крыльев. С помощью этих веревок пилот управлял не только рулями, но и перекосом крыльев, что позволяло изменять в по

лете подъемную силу то левого, то правого крыла и благодаря этому сохранять поперечную устойчивость аппарата.

Братья Райт совершили на своем планере очень много полетов, непрерывно совершенствуя свою машину. Иногда им удавалось слетать с высоких хол-



Фиг. 8. Планер бр. Райт в полете (1900 г.).

мов и при сильном ветре (фиг. 8). Во время этих полетов бывали нередко моменты, когда аппарат на короткое время взмывал на несколько метров выше точки взлета, т. е. моментами им удавалось парить. Когда сведения об этом проникали в печать, мало кто верил, что на безмоторном аппарате можно подняться хотя бы на один метр выше точки взлета. А между тем, то, чего тогда удавалось достичь братьям Райт на их планере, не идет ни в какое сравнение с современными успехами полета на планерах.

Но братья Райт, как и их предшественники, рабо-



тая над планером, вовсе не ставили себе задачу вполне разрешить проблему летания на аппаратах тяжелее воздуха при помощи планера. Они смотрели на него лишь как на средство для приобретения необходимого опыта и знаний, которые бы позволили им осуществить мечту человечества — создать такую машину, на которой при помощи двигателя можно было бы свободно передвигаться в воздухе. Так как братья Райт были хорошими механиками, то им после трехлетних опытов с планером удалось поставить на него бензиновый двигатель с парой воздушных винтов, что и позволило им после нескольких неудачных попыток подняться с ровного места и пролететь несколько десятков метров. Так был создан аэроплан (самолет). Это было в 1903 г.

Братья Райт, удачно разрешив проблему создания вполне управляемой летательной машины тяжелее воздуха, снабженной двигателем, забросили опыты с планером. Всю свою энергию и весь приобретенный в полетах на планере опыт они сосредоточили на совершенствовании аэроплана, в чем и достигли в короткое время замечательных результатов.

С появлением аэроплана во всем мире началась полоса лихорадочного увлечения моторной авиацией. К планеру как к самостоятельной машине пропал всякий интерес. И если какой-нибудь любитель строил себе крылья и прыгал на них с горки, то на это уже смотрели не как на опыт изобретателя, а лишь как на забаву или своеобразный спорт. Растущие же с каждым днем успехи аэроплана еще более, разумеется, способствовали забвению планера.

## **ПЕРВЫЕ ПОСЛЕВОЕННЫЕ ПЛАНЕРЫ И РАЗВИТИЕ ПЛАНЕРИЗМА**

Со времени появления первых планеров (Лилиенталя и его последователей) до конца мировой войны (1918 г.) прошло около двух десятков лет. За этот период самолет, рожденный, как мы видели, из планера, был доведен до значительного совершенства, и

авиация получила уже широкое развитие. При возрождении после мировой войны интереса к безмоторному летанию имевшиеся достижения авиатехники дали, естественно, возможность быстро создать такие планеры, которые на первых же шагах далеко оставили за собой планеры Лилиенталя и бр. Райт.

В 1920 г. в Германии возникли многочисленные планерные кружки, главным образом при высших технических школах.

Кружками и, в частности, постройкой в них планеров руководили опытные летчики и конструктора, а иногда и крупные ученые. Осенью 1920 г. были проведены первые планерные состязания на горе Вассеркуппе в горной местности Рён на юге Германии. Эти состязания явились по существу подготовительными.

На вторых рёнских состязаниях в 1921 г. было представлено 46 планеров и совершено

много интересных полетов, отдельные из которых были продолжительностью до 15 мин. с превышением над местом взлета в 100—120 м. Третьи рёнские состязания дали еще более интересные результаты: были осуществлены полеты продолжительностью больше часа с превышением над местом взлета в 300—400 м.

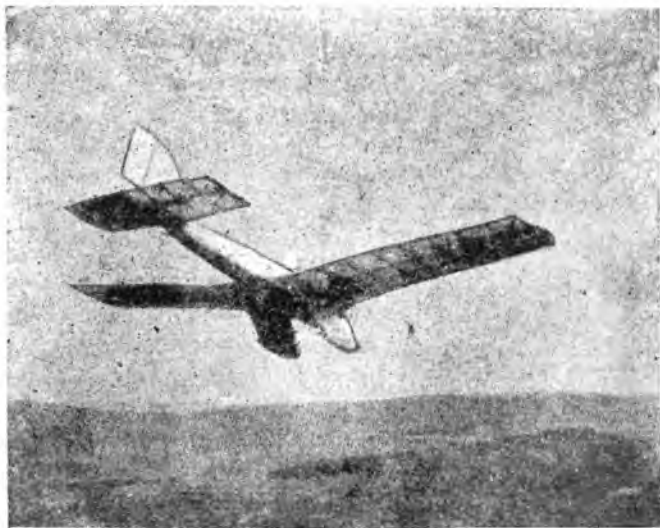
На фиг. 9 и 10 даны некоторые из немецких планеров 1920—22 гг. Эти планеры по своей конструктивной схеме по существу ничем не отличались от самолетов. Самым важным преимуществом их перед первыми планерами (Лилиенталя и др.) было то, что они



Фиг. 9. Возрождение планеризма. Немецкий послевоенный планер (1920 г.).

имели уже проверенную на самолетах систему органов управления и устойчивости.

Конечно, с современной точки зрения эти планеры далеко не совершенны, а полетные достижения на них незначительны. Но для того времени 15-минутный полет на безмоторной машине казался уже не-



Фиг. 10. Немецкий послевоенный планер (1921 г.).

обычайным завоеванием. Поэтому парящие полеты немецких летчиков приковали к себе внимание всего мира и вызвали новую волну интереса к планеру, что и способствовало в дальнейшем быстрому совершенствованию этой замечательной машины.

Развитие планеризма в Германии шло очень быстрыми темпами. Ссздавшееся вскоре так называемое «Рён-Розиттенское общество» стало техническим и методическим центром германского планеризма. Это общество взяло на себя между прочим и организацию ежегодных планерных состязаний в Рёне и в Розиттене (на севере Германии). В Рёне на горе Вас-

серьезнее была создана планерная школа и научно-исследовательский институт безмоторного летания.

Совершенствование планеров шло тоже очень быстрыми темпами. В течение ряда лет, примерно с 1923 по 1928 гг., определилось несколько типов планеров для различного назначения; основными из них явились: учебный планер — для первоначального обучения, учебный планер-паритель — для обучения парящему полету и рекордный планер-паритель — для полетов на дальность и высоту (фиг. 11, 12, 13). Планеры, данные на наших рисунках, и ряд других удачных конструкций послужили образцами как для немецких конструкторов, так и для конструкторов других стран.

Как сказано, совершенствование планеров шло быстрыми темпами. Попутно с этим накапливался опыт в изучении и использовании необходимых для парящего полета метеорологических условий (восходящие воздушные потоки). Быстро прогрессировала техника парения. В результате всего этого полетные успехи росли с поразительной быстротой. Для иллюстрации достаточно, например, сказать, что на первых ронских состязаниях (1920 г.) дальность полета не превышала 1 км, а на состязаниях 1926 г. она достигла уже 55 км. Так же быстро росли продолжительность и высота полета.

Увлечение планеризмом перекинулось и в другие страны. Особенным вниманием и любовью со стороны молодежи планер стал пользоваться у нас в СССР



Фиг. 11. Совершенствование планера. Учебный немецкий планер (1925 г.).

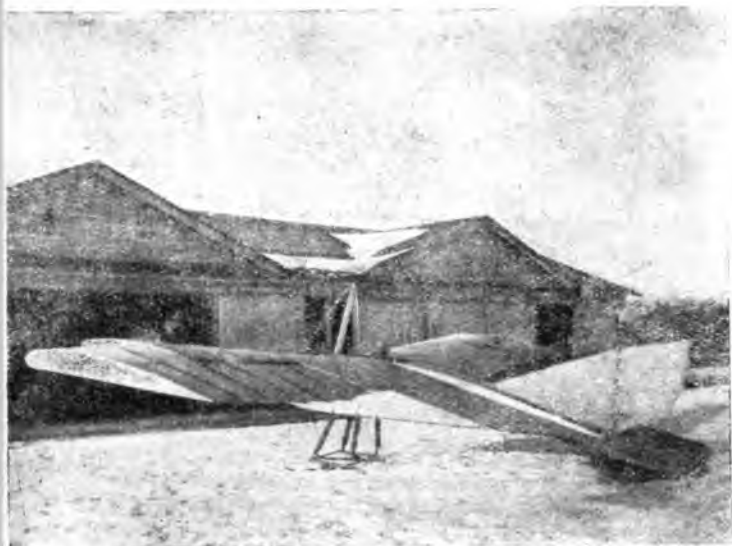


**Фиг. 12. Совершенствование планера. Немецкий учебный планер-паритель (1927 г.).**



**Фиг. 13. Совершенствование планера. Немецкий рекордный планер-паритель (1928 г.).**

Уже в 1921 г., т. е. вскоре после первых успехов немецких планеристов, был создан в Москве планерный кружок «Парящий полет». Организаторами его была группа старых летчиков и студентов втузов. Кружок вел пропаганду планеризма и начал постройку первого советского планера (конструкции Арцеулова).



Фиг. 14. Первый советский планер конструкции Арцеулова (1922/23 г.).

Возникло еще несколько планерных кружков, в том числе и кружок при Академии воздушного флота, который в дальнейшем стал ведущей планерной организацией.

Интенсивное развитие советского планеризма началось после организации в 1923 г. «Общества друзей воздушного флота» (ОДВФ). При спортсекции ОДВФ был создан «Центр безмоторной авиации», который объединил все планерные кружки и начал подготовительную работу по созданию советского

планеризма. Осенью 1923 г. «Центр» организовал первые Всесоюзные планерные испытания в Крыму на горе Узун-Сырт<sup>1</sup>, близ Коктебеля, на которых было представлено 9 планеров, причем на лучших из них (фиг. 14 и 15) удалось получить неплохие для начала результаты.



Фиг. 15. Первые всесоюзные планерные испытания в Крыму близ Коктебеля (1923 г.). Планер конструкции Невдачина. На заднем плане — северный склон горы Узун-Сырт.

В последующие годы ОДВФ, а после его реорганизации Авнахим и затем организации Осоавиахима развернули широкую организационную работу как по развитию массового планеризма, так и по созданию необходимых условий для борьбы наших конструкторов и пилотов за высокие качественные показатели советских планеров и полетные достижения на них. Почти ежегодные всесоюзные слеты планеристов в Крыму дали возможность проверять успешность этой борьбы и стимулировали ее. В этой борьбе выросли десятки талантливых конструкторов и сотни молодых

---

<sup>1</sup> Эта гора названа горой Клементьева в память погибшего в 1924 г. при полете на планере собственной конструкции летчика Клементьева.

пилотов высокой квалификации. Широкая сеть планерных школ (с Центральной на Узун-Сырте), станций и кружков обеспечили развитие массового планерного спорта. И за десяток лет советский планеризм под руководством коммунистической партии и советской общественности достиг такой степени развития, что уже к 1930 г. по своей планерной культуре и рекордным достижениям вышел на одно из первых мест в мире (см. таблицу рекордов в конце этой главы).

В других странах развитие планеризма шло значительно медленнее и существенного влияния на эволюцию планера эти страны не оказали. Что же касается Германии, то со времени прихода к власти фашистов немецкий планеризм утратил всякое спортивное значение и стал исключительно базой для быстрой подготовки военных летчиков, необходимых Третьей империи для осуществления ее агрессивных планов.

## СОВРЕМЕННЫЕ ПЛАНЕРЫ

За 16 лет, прошедших со времени возрождения планеризма, планер доведен до большой степени совершенства. Это стало возможным благодаря с одной стороны, коллективным усилиям исследователей, конструкторов и летчиков, посвятивших себя безмоторному летанию, а с другой — необычайному расцвету за указанный период авиационной науки и техники.

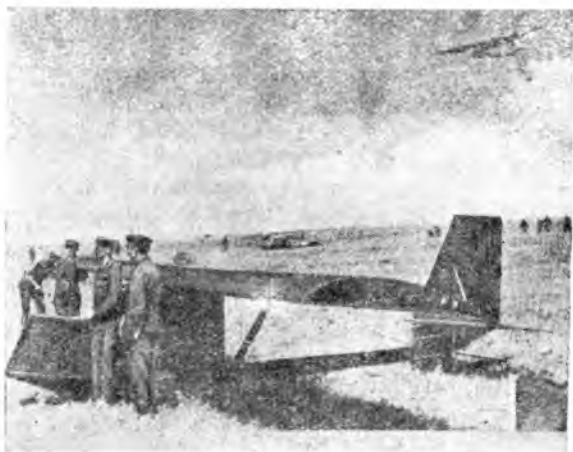
Длительный, парящий полет на планере возможен только при наличии восходящих воздушных потоков, и чем сильнее эти потоки, тем легче полет осуществим. Но мощные восходящие потоки найти можно, к сожалению, не часто и далеко не везде.

Для использования же слабых восходящих потоков необходимо, чтобы крылья и общие формы планера-парителя были в аэродинамическом отношении значительно совершеннее чем, например, крылья и формы самолета, полет на котором осуществляется благодаря тяге воздушного винта, вращаемого мощным мотором. К поискам этих совершенных аэро-





Фиг. 16. Тренировочный фигурный планер Г-9 конструкции Грибовского.



Фиг. 17. Учебный планер УС-4 конструкции Антонова (для первоначального обучения). В воздухе — учебный паритель ПС-2 конструкции Антонова.

динамических форм планеров и были направлены усилия исследователей и конструкторов. Поиски эти к настоящему времени дали отличные результаты, и современные планеры (фиг. 16—26) указанному требованию уже в значительной степени удовлетворяют; это подтверждают не только рекорды безмоторного полета (см. таблицы в конце этой главы), но и повседневная практика планеризма. Достаточно, например, сказать что полет на пла-



Фиг. 18. Современный немецкий рекордный планер-паритель.

нере на расстояние 200—300 км и больше не редкость.

В быстром совершенствовании планера большую роль сыграло еще и то обстоятельство, что полетная практика планеризма долго носила почти исключительно исследовательский характер. До развития планеризма метеорология очень мало знала о восходящих воздушных потоках и пилотам-парителям пришлось столкнуться с необходимостью на практике тщательно изучать условия и характер возникновения этих потоков.

В процессе этого изучения все яснее выкристаллизовывались те основные требования, каким должен удовлетворять планер-паритель, а также расширилась сфера действия безмоторной авиации. Понятно, что это облегчало творческую работу конструкторов

и заставляло их искать все более и более совершенные конструктивные формы планеров.



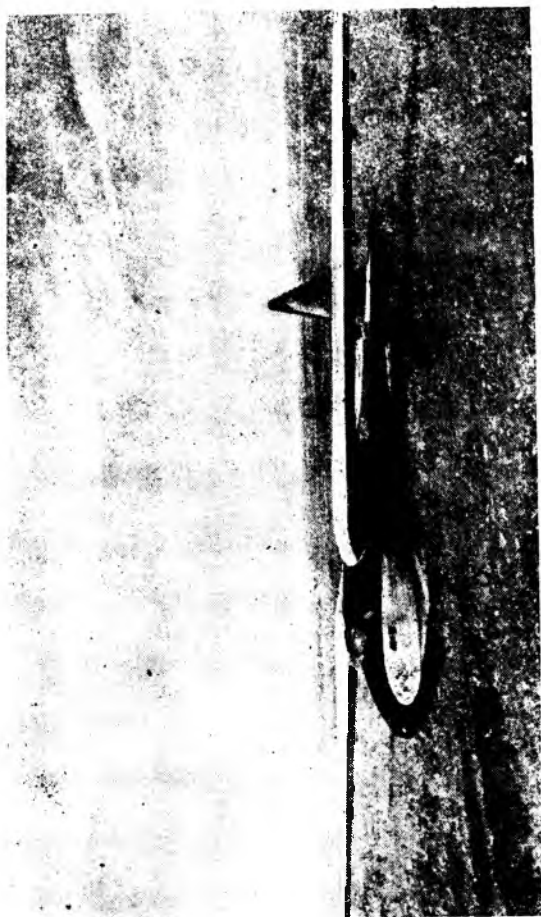
Фиг. 19. Рекордный планер паритель ГП-6 конструкции Грошева.



Фиг. 20. Рекордный планер-паритель «Рот-Фронт» конструкции Антонова.

Быстрое совершенствование планера явилось, как сказано, и следствием огромных достижений современной авиационной науки и техники. Именно без

успехов теоретической и экспериментальной аэродинамики<sup>1</sup> и высоко развитой производственной базы.



Фиг. 21. Рекордный планер-паритель типа чайки ДК-3 конструкции Колесникова.

созданной в области самолетостроения, быстрое совершенствование планера было бы, конечно, невозможно.

---

<sup>1</sup> Наука, изучающая движение в воздухе.

Мы пока не будем говорить о конструктивных формах современных планеров, так как читатель еще не знаком ни с устройством планера, ни с элементарной теорией его полета. Об-

щее же представление о современных планерах можно получить из приводимых в этом разделе иллюстраций советских планеров последних лет. Скажем только о различии планеров в зависимости от их назначения.

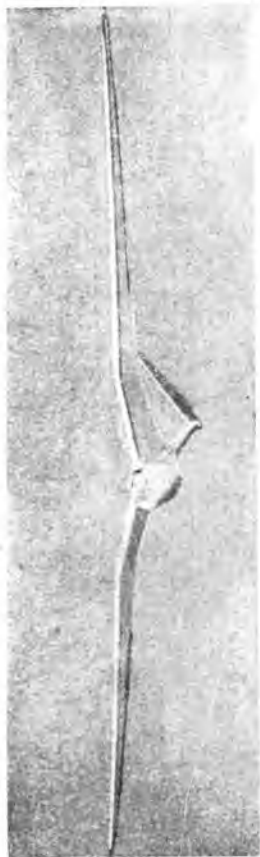
По назначению все современные планеры можно разделить на несколько основных типов.

*Учебные планеры* (фиг. 17, на земле) служат для первоначального обучения. Это обычно одноместные тихоходные машины, очень простой конструкции, рассчитанные только на так называемый скольльзящий полет, т. е. на кратковременный полет с горы в долину.

*Учебные планеры-парителы* (фиг. 17, в воздухе) служат для обучения парящему полету. От учебного планера учебный паритель внешне почти ничем не отличается, но он

обладает лучшими полетными качествами и более прочен.

*Тренировочные планеры* (фиг. 16) служат для тренировки в парящем полете, а также в фигурном и буксировочном полете. Это обычно одноместные,



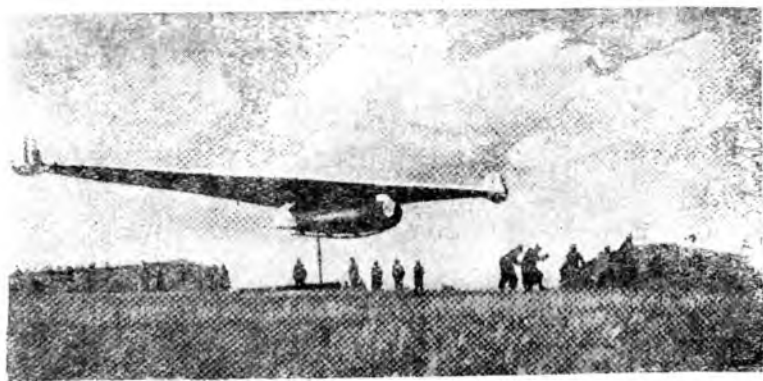
Фиг. 22. Рекордный планер-паритель типа чайки Авиавнито ПАГИ.

исключительно прочные машины, обладающие достаточно хорошими летными качествами.

*Рекордные планеры* (фиг. 16, 19, 20, 21, 22 и 26) служат для полетов на дальность и высоту (они



Фиг. 23. Пассажирский двухместный планер-парятель Ш-5 конструкции Шереметьева.



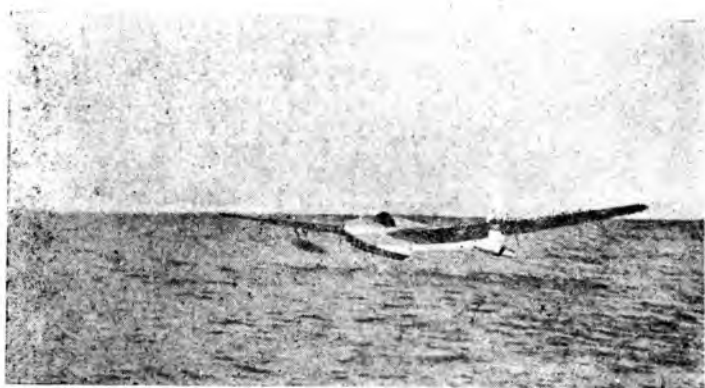
Фиг. 24. Экспериментальный немецкий бесхвостый планер Липпита.

могут быть и тренировочными). Это одноместные машины, обладающие исключительно высокими летными качествами и в то же время очень прочные. Большинство из них являются и буксировочными планерами.

Пассажирские планеры (фиг. 23) служат для полетов с пассажирами и могут быть двухместными.



Фиг. 25. Бесхвостый экспериментальный планер-паритель „Парабола“ конструкции Черновского.



Фиг. 26. Гидропланер Г-16 Грибовского.

трехместными и многоместными. Они могут быть использованы для учебных тренировочных и рекордных полетов.

*Экспериментальные планеры* (фиг. 24 и 25) строятся в целях изучения и поисков новых конструктивных и аэродинамических форм безмоторной летательной машины.

Сравнив современные планеры с планерами первых лет (Лилиенталя и его последователей), даже неискушенный читатель не может не увидеть, какая пропасть лежит между теми и другими. Современный рекордный планер — это, пожалуй, не меньшее чудо техники, чем те самолеты, на которых человек перелетает океаны.

Замечательны и полетные достижения планеров. Чтобы читатель мог судить о них, мы и даем здесь таблицы международных и национальных рекордов в области безмоторного летания.

*Таблица 1*

**Международные рекорды на 1/VII 1937 г.**

| Рекорд                                           | Одноместные                                                                                   | Многоместные                                                                 |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Дальность по прямой                              | 652 км. СССР. Пилот Расторгуев на планере ГН-7; 27/V 1937 г. <sup>1</sup>                     | 407 км. СССР. Пилот Ильченко с пассажиром на планере „Комсомол“ 27/V 1937 г. |
| Продолжительность полета с возвращением на старт | 36 час. 35 мин. Германия. Пилот Шмидт на планере Грюнау Баби; 3 — 4/VIII 1933 г. <sup>1</sup> |                                                                              |
| Высота над местом старта                         | 4 325 м. Германия. Пилот Дитмар на планере Кондор; 17/II 1934 г.                              |                                                                              |

<sup>1</sup> Примечание: Международный рекорд продолжительности на одноместном планере по сути дела принадлежит СССР (как видно из табл. 2), но он не был зарегистрирован в ФАИ, (Международная авиационная федерация), так как в то время СССР еще не состоял в этой организации.



## Национальные рекорды на 1/VII 1937 г.

| Страна                 | Одноместные            |               |                        | Двухместные            |               |                        |
|------------------------|------------------------|---------------|------------------------|------------------------|---------------|------------------------|
|                        | даль-<br>ность<br>(км) | высота<br>(м) | продолжитель-<br>ность | даль-<br>ность<br>(км) | высота<br>(м) | продолжи-<br>тельность |
| СССР . . . . .         | 652                    | 4 275         | 38 ч. 10 м.            | 407                    | 2 530         | 38 ч. 40 м.            |
| Германия . . . . .     | 504                    | 4 325         | 36 ч. 36 м.            | 76                     | 1 250         | 9 ч. 21 м.             |
| США . . . . .          | 257                    | —             | —                      | —                      | —             | —                      |
| Польша . . . . .       | 332                    | 2 630         | 20 ч. 15 м.            | —                      | —             | 9 ч. 21 м.             |
| Франция . . . . .      | 200                    | 1 720         | 16 ч. 00 м.            | —                      | —             | —                      |
| Англия . . . . .       | 177                    | 2 538         | 13 ч. 07 м.            | 72                     | 1 100         | —                      |
| Швейцария . . . . .    | 165                    | —             | 25 ч. 50 м.            | —                      | —             | —                      |
| Венгрия . . . . .      | 290                    | 1 840         | 24 ч. 14 м.            | —                      | —             | —                      |
| Бельгия . . . . .      | 22                     | —             | —                      | —                      | —             | —                      |
| Чехословакия . . . . . | 25                     | 625           | 10 ч. 31 м.            | —                      | —             | —                      |
| Австрия . . . . .      | 142                    | 1 910         | 14 ч. 04 м.            | —                      | —             | —                      |
| Литва . . . . .        | —                      | —             | 22 ч. 36 м.            | —                      | —             | —                      |
| Япония . . . . .       | —                      | —             | 9 ч. 23 м.             | —                      | —             | —                      |

Таблица 3

Всесоюзные рекорды на 1/VII 1937 г.

| Рекорд              | Одноместные                                                       | Двухместные                                                          |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Дальность по прямой | 652 км. Пилот Расторгуев на планере ГН-7; 27/V 1937 г.            | 407 км. Пилот Ильченко на планере „Комсомол“; 27/V 1937 г.           |
| Продолжительность   | 38 час. 10 мин. Сухомлин на планере Сталинец - 4; 2 — 3/X 1935 г. | 38 час. 40 мин. Лисицын на планере Сталинец - 2 - бис; 2—3/X 1935 г. |
| Высота              | 4 275 м. Пилот Овсянников на планере ВС-5; 22/VIII 1936 г.        | 2 530 м. Пилот Гавриш на планере Ш-4; 10/X 1933 г.                   |

Таблица 4

Изменение с высотой температуры, давления и плотности воздуха

| Высота в м | Температура<br>в градусах Ц. | Давление<br>в мм рт. ст. | Относительная<br>плотность (при-<br>нимаемая плотность<br>у земли = 1) |
|------------|------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 0          | 15,0                         | 760,0                    | 1,00                                                                   |
| 1 000      | 8,5                          | 674,1                    | 0,91                                                                   |
| 2 000      | 2,0                          | 596,2                    | 0,82                                                                   |
| 3 000      | — 4,5                        | 525,8                    | 0,74                                                                   |
| 4 000      | —11,0                        | 462,3                    | 0,67                                                                   |
| 5 000      | —17,5                        | 405,1                    | 0,60                                                                   |
| 6 000      | —24,0                        | 353,8                    | 0,54                                                                   |
| 7 000      | —30,5                        | 307,9                    | 0,48                                                                   |
| 8 000      | —37,0                        | 266,9                    | 0,43                                                                   |
| 9 000      | —43,5                        | 230,5                    | 0,38                                                                   |
| 10 000     | —50,0                        | 198,2                    | 0,34                                                                   |

# ДВИЖЕНИЕ В ВОЗДУХЕ

## ВОЗДУХ И ВОЗДУШНЫЕ ТЕЧЕНИЯ

С детских лет, когда мы только что начинаем познавать мир во всем его многообразии и красоте, мы уже знаем слово воздух. Мы узнаем, что воздух есть та среда, в которой мы постоянно находимся и которой дышим. Мы узнаем, что воздух может быть холодным, теплым, чистым или загрязненным (например, плавающим в нем дымом или пылью), что по воздуху могут плавать облака и что сам воздух может двигаться. Мы узнаем, что движущийся воздух, или, как мы его называем, ветер, способен не только обвевать в летний зной прохладой наше лицо, но и двигать с помощью парусов лодки и огромные корабли, вырывать с корнем деревья и вздымать водную поверхность морей и океанов громадными волнами, которые опасны даже для самых больших пароходов.

Но самое замечательное, что мы узнаем о воздухе, едва ли не прежде всего, это то, что в нем порхают птицы и насекомые, порхают легко и красиво, тогда как мы принуждены лишь с завистью смотреть на них.

Воздух кажется нам невесомым, в действительности же воздух есть газ и, как каждый газ, он имеет вес. У поверхности земли (при 0°) один кубический метр воздуха весит 1,293 кг. Иначе говоря, у поверхности земли воздух имеет определенную плотность. Но по мере удаления от земли воздух становится все более разреженным, т. е. один кубический метр его будет весить уже не 1,293 кг, а все меньше и меньше; иными словами, плотность воздуха с высотой уменьшается, и, например, на высоте 6.000 м плотность воздуха уже в два раза меньше, чем у поверхности земли.

Воздух представляет собой механическую смесь нескольких газов, главным образом азота и кислорода. Воздух окружает весь земной шар толстым

слоем, толщина которого в точности неизвестна; приблизительно она равна 300 км. Этот слой воздуха называется атмосферой. Резкой границы между атмосферой и безвоздушным (межпланетным) пространством не существует. Плотность воздуха уменьшается постепенно и, как подтверждают некоторые явления, следы воздуха находятся даже на высоте 750 км, но в среднем, повторяем, толщина атмосферы равна 300 км.

Итак, по мере удаления от поверхности земли плотность воздуха уменьшается; при этом изменяется и температура воздуха: она понижается примерно на  $5\text{--}7^\circ$  на каждый километр высоты, т. е. чем выше от земли, тем холоднее. Это понижение температуры происходит приблизительно до высоты 12 км, причем весь слой воздуха от земли до этой высоты называется тропосферой. Выше 12 км и до некоторой, пока точно не установленной, высоты температура воздуха остается примерно постоянной (около  $55^\circ$  ниже нуля). Этот слой атмосферы с примерно постоянной температурой называется стратосферой. Выше этого слоя температура воздуха вновь начинает понижаться.

С высотой изменяется и давление воздуха, которое при одной и той же температуре прямо пропорционально плотности. С высотой плотность уменьшается, а следовательно, понижается и давление воздуха. Напомним, что давление измеряется в миллиметрах ртутного столба. Как изменяется температура, давление и плотность воздуха с высотой (считая от уровня моря) в пределах тропосферы, видно из табл. 4.

Воздух над земной поверхностью не находится в состоянии покоя а всегда движется, так как над разными точками земной поверхности он нагревается неравномерно. Перемещения воздуха могут быть или местными, в зависимости от условий, результатом которых они являются, или же постоянными. Рассмотрим сначала первые.

Дело в том, что на одной и той же широте земная поверхность нагревается солнечными лучами не-

равномерно: пашня, например, нагревается сильнее, чем луга, и много сильнее, чем водная поверхность; горы без растительности нагреваются сильнее покрытых лесом; степь — сильнее, чем луга и т. д. Нижние слои воздуха, находясь вблизи неравномерно нагретой земной поверхности, нагреваются тоже неравномерно. Так как теплый воздух легче холодного, то он поднимается вверх, а на его место притекает более холодный. Это горизонтальное течение воздуха мы и называем ветром.

Теплый воздух, поднявшись вверх, где температура, как мы знаем, всегда ниже, чем у земли, охлаждается там и опускается вниз, а на его место поступают новые массы теплого воздуха; так образуются вертикальные воздушные течения — восходящие и нисходящие. Восходящие воздушные течения, или, как их чаще называют, *восходящие воздушные потоки*, имеют огромное значение для летания на планерах; в одной из следующих глав, где будет идти речь о парящем полете планера, мы более подробно расскажем о различных видах восходящих воздушных потоков.

Ярким примером местных, часто меняющихся воздушных течений являются ветры, дующие на морском побережье и вблизи него. Так как суша нагревается солнцем быстрее, чем море, то и воздух над сушей нагревается днем обычно сильнее, чем над морем; ясно поэтому, что днем более холодный воздух с моря перемещается в сторону суши, т. е. днем ветер дует с моря. Ночью земля скорее остывает, чем море, и, следовательно, воздух над сушей оказывается ночью более холодным, чем над морем; ночью поэтому ветер дует с суши. Эти местные ветры называются бризами. Они дуют регулярно, если, конечно, их не сбивают более мощные ветры, дующие издалека.

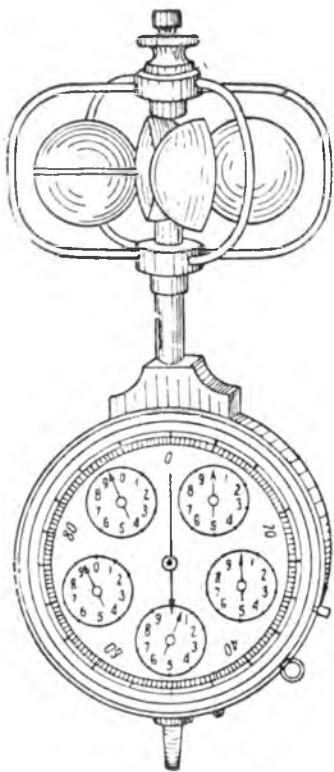
Кроме описанных местных воздушных течений существуют более мощные и постоянные перемещения воздушных масс над поверхностью земного шара. Они возникают по той простой причине, что поверхность земного шара нагревается солнечными

лучами неравномерно, в зависимости от географической широты места: у экватора — сильнее, у полюсов — слабее. Нетрудно понять поэтому, что над всей земной поверхностью происходит постоянный гигантский круговорот воздушных масс, а следовательно, и возникновение всевозможных воздушных течений.

Как вертикальные воздушные течения (восходящие и нисходящие потоки), так и ветер играют большую роль в летании. Но особенно велико их значение для безмоторного летания, так как планер позволяет человеку летать подобно птице лишь благодаря энергии движущегося воздуха.

Скорость вертикальных воздушных течений обычно незначительна и редко превышает 5 м/сек, скорость же ветра достигает иногда 50 м/сек. Скорость ветра в воздушном деле всегда измеряется метрами в секунду, подобно тому как в морском деле — баллами. Для определения скорости ветра служит прибор — анемометр (фиг. 27). Существует несколько конструкций анемометров, но в основе действия всех их лежит давление воздушного потока на ту или иную часть прибора.

Скорость ветра нетрудно приблизительно определить и без прибора, если руководствоваться признаками, которые возникают при действии ветра на



Фиг. 27. Анемометр.

## Шкала Бофорта

| Обозначение<br>ветра | Скорость<br>ветра |       | Признаки                                                                           |
|----------------------|-------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | м/сек.            | баллы |                                                                                    |
| Штиль . . . . .      | 0                 | 0     | Тихо                                                                               |
| Тихий ветер . .      | 1,7               | 1     | Слабо отклоняет дым от вертикального направления                                   |
| Легкий ветер . .     | 3,1               | 2     | Становится ощутимым; колыхается слегка флаг                                        |
| Слабый ветер . .     | 4,8               | 3     | Движет листья деревьев                                                             |
| Умеренный ветер      | 6,7               | 4     | Полощет флаг, качает мелкие ветви                                                  |
| Свежий ветер . .     | 8,8               | 5     | Качает верхушки деревьев; ударяя в лицо, производит неприятное ощущение            |
| Сильный ветер .      | 10,7              | 6     | Завывает в трубах, слышен вблизи зданий и других препятствий, качает тонкие стволы |
| Крепкий ветер .      | 12,9              | 7     | На стоячей воде поднимает волны с опрокидывающимися гребнями                       |
| Очень крепкий .      | 15,4              | 8     | Качает деревья, сильно мешает идти                                                 |
| Шторм . . . . .      | 18,0              | 9     | Сдвигает с места черепицу                                                          |
| Сильный шторм .      | 21,0              | 10    | Валит деревья                                                                      |
| Жестокий шторм       | 30,0              | 11    | ) Производит серьезные разрушения                                                  |
| Ураган . . . . .     | 50,0              | 12    |                                                                                    |

живую и мертвую природу. В приведенной на стр. 40 очень интересной шкале (шкала Бофорта) указаны эти признаки, причем скорость ветра дана как в *м/сек*, так и в баллах.

Обычно у поверхности земли ветер дует не равномерно, а порывами, т. е. скорость его то уменьшается, то увеличивается. Чем выше над землей, тем ветер ровнее. и на очень больших высотах он почти не меняется, причем дует с огромными скоростями, которые у земли наблюдаются редко.

## ЗАКОН БЕРНУЛЛИ

Движение тел изучает наука, называемая динамикой и являющаяся частью механики. Движение жидкости изучает гидродинамика. Движение же воздуха или тел в воздухе изучает аэродинамика. Движение жидкостей и движение воздуха подчиняется в основном одним и тем же законам.

Движение воздуха может быть поступательным и вихревым, т. е. вращательным вокруг какого-нибудь центра или оси. Всякое сложное движение воздуха можно рассматривать как состоящее из поступательного и вихревого.

Мы видели, что давление в неподвижном воздухе зависит от высоты над уровнем моря (в незначительной степени также и от погоды). Если же воздух находится в движении, то давление меняется, причем изменение давления зависит от скорости движения. Эту зависимость давления от скорости можно легко заметить, наблюдая движение жидкости в приборе, схематически изображенном на фиг. 28.

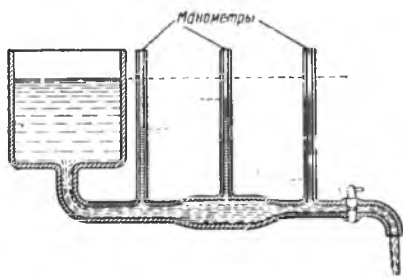
Этот прибор представляет собой трубу переменного сечения, снабженную тремя манометрами<sup>1</sup>. Так как движение жидкости неразрывно, то в каждую единицу времени через каждое сечение трубы должно пройти одно и то же количество жидкости. Но сечения трубы в разных местах различны (около

---

<sup>1</sup> Манометр — прибор, показывающий давление жидкости или газа.



каждого манометра) и, следовательно, для того чтобы в единицу времени через каждое сечение прошло одно и то же количество жидкости, последняя должна течь через эти сечения с разными скоростями. Так оно на самом деле и есть, причем скорость движения



Фиг. 28. Схема прибора, с помощью которого легко обнаружить, что давление в струе жидкости будет тем меньше, чем больше скорость течения жидкости.

жидкости будет тем больше, чем меньше сечение трубы. Это явление можно наблюдать, например, на реке: там, где русло ее суживается, там течение всегда сильнее.

В нашем приборе самое меньшее сечение трубы — у правого манометра, несколько большее — у левого, а самое большое — у среднего.

Если иметь это в виду и, открыв кран, дать жидкости течь по трубе, то, наблюдая за манометрами, мы увидим, что жидкость всего больше поднимается в среднем манометре, несколько меньше — в левом, а всего меньше — в правом. Это покажет, что давление в широкой части трубы (где скорость течения меньше) будет больше, чем в узкой (где скорость течения больше). Таким образом ясно, что при увеличении скорости движения жидкости давление в струе уменьшается. Этот закон изменения давления в зависимости от скорости справедлив и для воздуха и носит название закона Бернулли.

Закон Бернулли имеет очень большое значение в аэродинамике. Действием его, как мы увидим в дальнейшем, объясняется образование подъемной силы крыла планера.

## ЗАКОН СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА

Итак, воздух имеет определенный вес, определенную плотность и, перемещаясь над земной поверхностью, образует различные по направлению и силе воздушные течения. Быстродвигающийся воздух — ветер — оказывает на тела сильное давление и может даже производить разрушения. И, наоборот, если воздух неподвижен, а быстро движется в нем тело, то воздух оказывает на это тело такое же давление, как если бы он сам двигался, а тело было бы неподвижно. В этом вы легко убеждаетесь во время бега, при езде на велосипеде или автомобиле. Отсюда ясно, что всякое тело,двигающееся в воздухе, встречает со стороны его определенное сопротивление. Воздух, следовательно, мешает нам при движении; с другой стороны, если бы сопротивления воздуха не было, мы не могли бы и летать, как это будет понятно из дальнейшего.

Сила, с которой воздух давит надвигающееся в нем тело, называется силой сопротивления воздуха. Ясно, что для преодоления этой силы нужно затратить равную ей силу, но направленную в противоположную сторону. Таким образом всякое тело,двигающееся в воздухе, оказывается под действием нескольких сил.

Движение тел в воздухе изучает, как выше было сказано, наука аэродинамика. Основным законом аэродинамики и является закон сопротивления воздуха. Закон этот совершенно точно и ясно говорит, от чего и как зависит сила сопротивления воздуха. На этом законе основан полет всех летательных машин, в том числе и планера. Ясно, следовательно, что для понимания полета планера нужно прежде всего узнать и понять закон сопротивления воздуха.

Закон сопротивления воздуха найден из опыта. Он гласит следующее:

Сопротивление воздуха,встречаемое движущимся в нем телом, прямо пропорционально плотности воздуха, пря-

мо пропорционально наибольшему поперечному сечению тела, прямо пропорционально квадрату скорости тела и зависит от формы тела.



Фиг. 29. Спектр обтекания воздухом плоской пластинки.

Проще говоря, если плотность воздуха, скажем, увеличится в три раза, то и сопротивление увеличится в три раза; если поперечное сечение тела увеличится в три раза, то сопротивление воздуха увеличится тоже в три раза; если же скорость тела увеличится в три раза, то сопротивление увеличится в девять раз. В законе сказано еще, что сопротивление воздуха зависит от формы тела. Так как это особенно важно для летания, остановимся на влиянии формы тела на сопротивление воздуха подробнее.

При движении тела воздух, подобно жидкости, обтекает тело со всех сторон. Картина обтекания тела воздухом называется спектром обтекания или аэродинамическим спектром. Спектры обтекания воздухом тел различной формы получают

в так называемой аэродинамической трубе, в которой искусственно создают мощный воздушный поток (ветер). Помещая в этом потоке тела различ-



Фиг. 30. Спектр обтекания воздухом цилиндра.

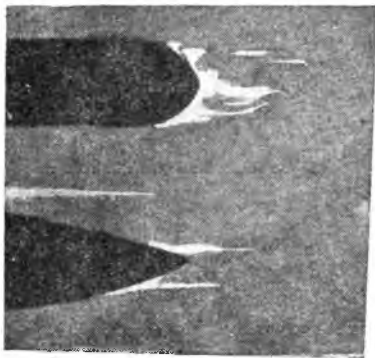
ной формы, удается наблюдать картину обтекания их воздухом и даже фотографировать ее.

На фиг. 29 дан спектр обтекания воздухом плоской пластинки, поставленной под углом  $90^\circ$  к направлению воздушного потока, который набегаёт на нее слева направо (или, что одно и то же, воздух неподвижен, а пластинка движется справа налево). При этом впереди пластинки (слева) получается повышенное давление воздуха, а сзади нее — пониженное. Ясно, что воздух из области повышенного



Фиг. 31. Тело наиболее удобо-обтекаемой формы (при движении тупым концом вперед).

давления устремляется в область пониженного, образуя сзади пластинки, сильные вихри или завихрения. Вследствие разности давлений впереди и сзади пластинки ее как бы засасывает в направлении, обратном ее движению, что мешает ей двигаться; иными словами, пластинка встречает большое сопротивление воздуха. Чем больше



Фиг. 32. Обтекание воздухом двух тел одинакового сечения и с одинаково заостренным носом, но с неодинаково заостренной кормой.

разность давлений спереди и сзади пластинки, тем больше, следовательно, сопротивление воздуха. С другой стороны, чем больше разность давлений, тем сильнее завихрения сзади пластинки. Отсюда ясно, что чем больше завихрений сзади тела, тем большее сопротивление воздуха встречает это тело.

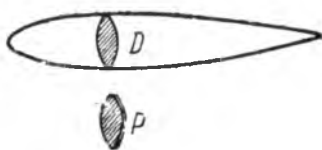
Если взять не пластинку, а например, цилиндр (фиг. 30), который будет двигаться с той же скоростью, что и пластинка, то

воздух обтекает цилиндр более плавно (цилиндр движется тоже справа налево). Ясно видно, что завихрений уже значительно меньше. Следовательно, цилиндр встречает меньшее сопротивление воздуха, чем пластинка.

Если взять тело такой формы, как на фиг. 31, то при движении его тупым концом вперед завихрений будет очень мало и, следовательно, сопротивление воздуха будет незначительно. Особенно важно, чтобы задняя часть тела была заострена. На фиг. 32 дано обтекание воздухом одного и того же тела с тупой кормой и острой кормой. Нетрудно видеть, что во втором случае завихрений почти нет.

Значит, тело с заостренной кормой встречает очень малое сопротивление воздуха.

Мы убедились теперь, что сопротивление воздуха, встречаемое движущимся в нем телом, в очень большой степени зависит от формы тела. И мы знаем теперь, что сопротивление воздуха всего меньше будет в том случае, если тело имеет продолговатую форму с плавно заостренным задним концом — тело, напоминающее по своей форме веретено. Из опыта найдено, что если взять пластинку  $P$  и тело веретенообразной формы  $D$ , у которого наибольшее поперечное сечение равно пластинке  $P$ , и заставить их двигаться с одинаковой скоростью (фиг. 33), то сопротивление тела  $D$  будет в 30 раз меньше сопротивления пластинки  $P$ .

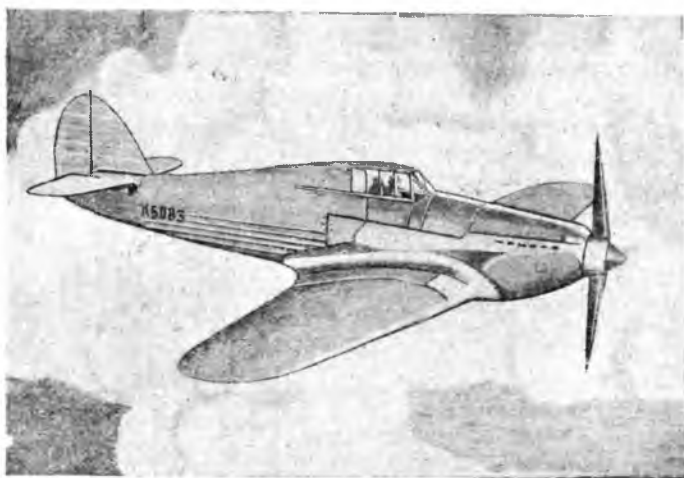


Фиг. 33. Тело обтекаемой формы  $D$  встречает в 30 раз меньшее сопротивление воздуха, чем пластинка  $P$ , площадь которой равна площади наибольшего поперечного сечения тела  $D$ .

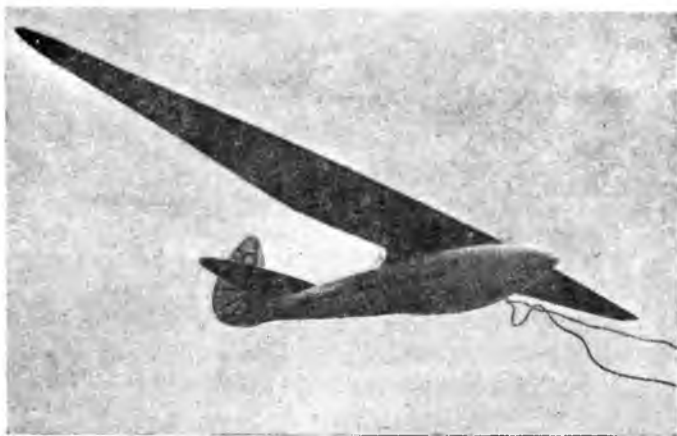


Фиг. 34. Обтекаемая форма современного дирижабля.

Таким образом незначительное сопротивление воздуха встречает тело такой формы, при которой встречный воздух плавно, почти без завихрений, обтекает



Фиг. 35. Обтекаемая форма современного самолета.



Фиг. 36. Обтекаемая форма современного планера-парителя.

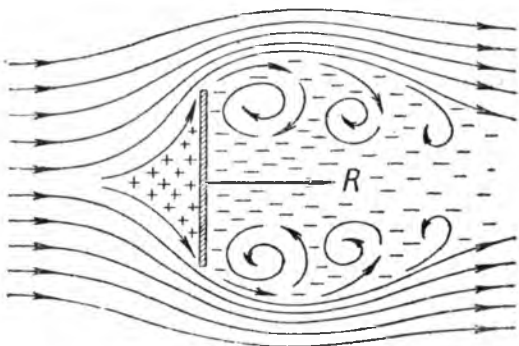
тело. Тела такой формы называются удобообтекаемыми или просто обтекаемыми.

Корпуса дирижаблей, самолетов и планеров имеют, как видно из фиг. 34, 35 и 36 удобообтекаемую форму подобную форме тела *D* на фиг. 31.

Для планера, который летает без мотора, важно, чтобы сопротивление воздуха было как можно меньше.

## ДВИЖЕНИЕ В ВОЗДУХЕ ПЛАСТИНКИ И КРЫЛА

Итак, воздух оказывает сопротивление всякому движущемуся в нем телу. Но в то же время, как мы



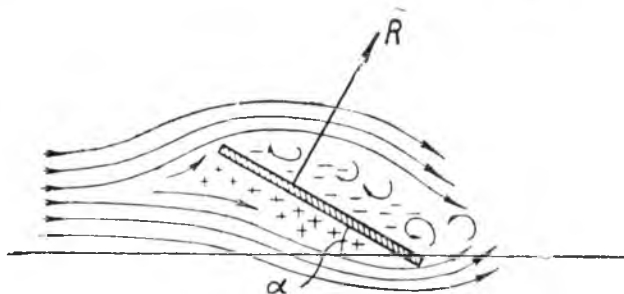
Фиг. 37. Движение в воздухе пластинки, поставленной под углом  $90^\circ$  к направлению движения.

говорили выше, не будь этого сопротивления, нам не удалось бы летать. Как будто одно противоречит другому, но на самом деле никакого противоречия нет, в чем мы сейчас и убедимся.

Пусть плоская пластинка движется под углом  $90^\circ$  справа налево (фиг. 37, см. также фиг. 29). Как уже говорилось, впереди пластинки образуется область повышенного давления воздуха (обозначено знаками +), а сзади пластинки — область пониженного давления (обозначено знаками —). Мы говорили



также, что вследствие разности давлений пластинку как бы присасывает к области пониженного давления, т. е. на пластинку слева направо давит некоторая сила  $R$ , которая, очевидно, направлена против движения пластинки (сила в механике обозна-



Фиг. 38. Движение в воздухе плоской пластинки, поставленной под острым углом к направлению движения.

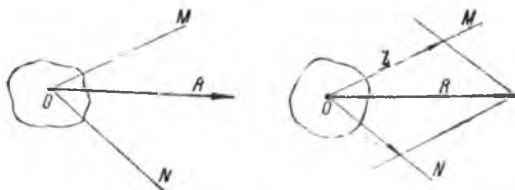
чается отрезком прямой со стрелкой, показывающей направление действия силы). Эта сила и есть сила сопротивления воздуха.

Рассматривая наш чертеж, нетрудно понять, что сила  $R$  только мешает движению пластинки. Но сейчас мы увидим, что при несколько ином положении пластинки эта сила  $R$  будет только отчасти мешать движению пластинки, так как одновременно она будет стремиться поднимать пластинку вверх.

Пусть наша пластинка движется теперь (тоже справа налево) не под углом  $90^\circ$ , а под небольшим углом  $\alpha$  (греческая буква альфа), равным приблизительно  $6-8^\circ$  (фиг. 38). В этом случае, как показывает опыт, повышенное давление образуется под пластинкой, а пониженное — над пластинкой. Вследствие разницы давлений воздуха под и над пластинкой возникает сила  $R$ , которая и будет знакомой уже нам силой давления или сопротивления воздуха. Как показывает опыт, она будет направлена почти перпендикулярно к плоскости пластинки. И мы видим, что здесь сила давления воздуха направлена уже не против движения пластинки, а под не-

которым углом вверх к направлению ее движения.

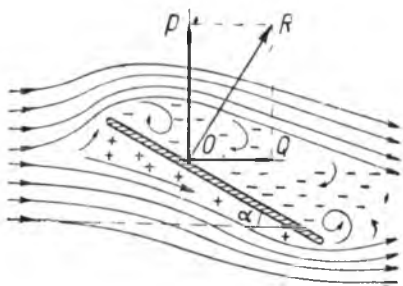
Чтобы понять действие силы  $R$  на нашу пластинку, необходимо знать правило разложения одной силы на две (одну силу всегда можно заменить двумя силами, равными ей по действию). Разложе-



Фиг. 39. Разложение одной силы на две по правилу параллелограмма.

ние одной силы на две производится в механике по правилу параллелограмма сил. Познакомимся вкратце с этим правилом.

Пусть на некоторое тело (фиг. 39) действует сила  $R$ , приложенная в точке  $O$ , которая поэтому и называется точкой приложения силы. Пусть требуется заменить силу  $R$  такими двумя силами, которые действовали бы, например, по направлению  $OM$  и  $ON$  и производили бы вместе точно такое же действие, как и одна сила  $R$ . В механике эта мысль обычно выражается так: требуется разложить силу  $R$  на две силы, которые действовали бы по направлениям  $OM$  и  $ON$ . Для этого проведем из конца силы две линии, параллельные  $OM$  и  $ON$ , до пересечения с этими линиями, т. е. построим параллелограм.



Фиг. 40. Движение в воздухе плоской пластинки. Разложение силы полного сопротивления воздуха  $R$  на две: подъемную силу  $P$  и силу лобового сопротивления  $Q$ .

Тогда мы и получим две силы  $a$  и  $b$ , которые могут заменить нашу силу  $R$ . Так как сила  $R$  по своему действию равна силам  $a$  и  $b$ , то она называется равнодействующей силой, а силы  $a$  и  $b$  — составляющими силами. Зная теперь разложение одной силы на две по правилу параллелограмма, обратимся опять к нашей пластинке.

Разложим силу давления воздуха  $R$  (фиг. 40) по двум направлениям: по вертикали и по горизонтали.



Фиг. 41. Профиль крыла.

Тогда вместо силы  $R$  мы получим две силы: силу  $P$  и силу  $Q$ . Так как сила  $P$  направлена вертикально вверх, то, очевидно, она будет стремиться поднять пластинку; поэтому она и называется подъемной силой. Сила же  $Q$  направлена навстречу движению пластинки или, как говорят, «в лоб», т. е. тормозит



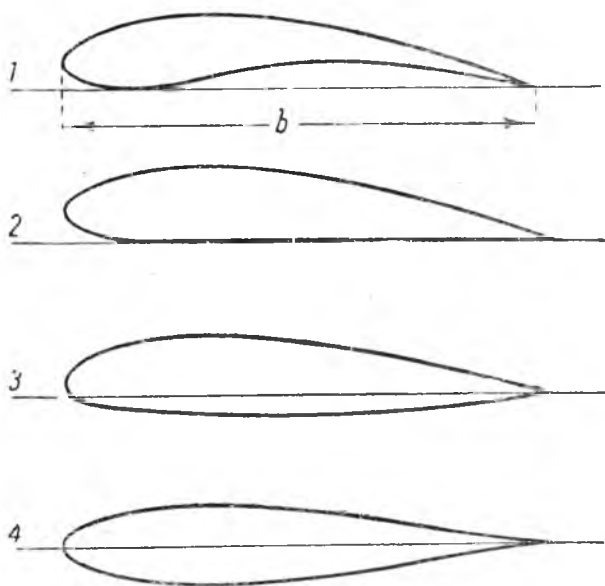
Фиг. 42. Крыло планера в плане (вид сверху).

$ABDC$  — площадь крыла;  $l$  — размах крыла;  $b$  — глубина или хорда крыла,  $b_{\text{сред}}$  — средняя хорда крыла;  $aa$  — сечение, дающее профиль крыла.

движение; поэтому она и называется силой лобового сопротивления. Заметим еще, что сила  $R$  называется силой полного сопротивления воздуха. Рассматривая фиг. 40 мы видим, что за пластинкой имеются сильные завихрения воздуха. Это доказывает, что несмотря на наличие подъемной силы, пластинка встречает все же очень значительное сопротивление воздуха, тормозящее ее движение; иными словами, лобовое сопротивление

пластинки очень велико. Это, как мы знаем, есть результат того, что пластинка не представляет собой тела удобообтекаемой формы.

Выгодно ли поэтому делать крыло планера (и самолета) плоским, подобным нашей пластинке? Конечно, нет. Надо, очевидно, придать ему удобообтекаемую форму.



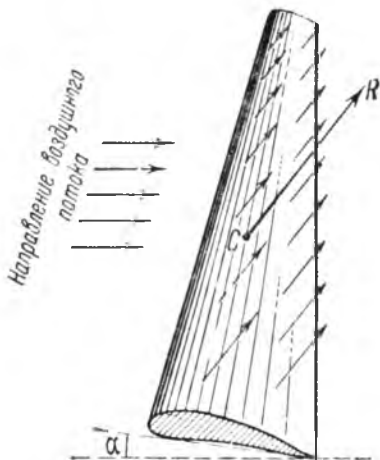
Фиг. 43. Основные формы профилей современных крыльев.  
 $b$  — хорда профиля (или хорда крыла).

Выше мы видели, что удобообтекаемой формой тела является форма, подобная изображенной на фиг. 31. При такой форме встречный воздух легко и плавно обтекает тело, вследствие чего сзади почти вовсе не получается завихрений. Вот почему, примерно такую форму и придают в поперечном сечении крылу планера (и самолета).

Поперечное сечение крыла (или вид сбоку) называется **профилем крыла** (фиг. 41).

На фиг. 42 изображен вид крыла планера в плане, т. е. вид сверху. Переднее ребро крыла  $AB$  называется **ребром атаки**; заднее ребро  $CD$  — **ребром обтекания**;  $ABDC$  — **площадь крыла**;  $l$  — **размах крыла**;  $b$  — **глубина или хорда крыла**; отношение размаха к глубине называется **удлинением крыла**. Это удлинение для прямоугольного крыла, т. е. такого, у которого хорда по всей длине равна  $b$ , будет  $\frac{l}{b}$ .

Для крыла всякой другой формы в плане вместо  $b$  берут среднюю хорду  $b_{\text{сред}}$  т. е. хорду такого прямоугольного крыла, которое при том же размахе  $l$  имеет площадь равную площади нашего непрямоугольного крыла. Поперечный разрез крыла по линии  $aa$  есть **профиль крыла** (о нем уже было сказано выше).



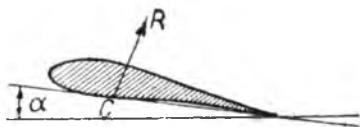
Фиг. 44. Движение в воздухе крыла.

Профили крыльев (фиг. 43) бывают с вогнутым основанием 1; с плоским основанием 2; двояковыпуклые 3 и симметричные 4. Линия  $b$  — **хорда крыла**. Отношение наибольшей высоты профиля к

глубине крыла (выраженное в процентах от длины хорды) называется **толщиной крыла**.

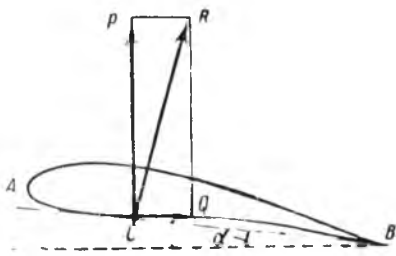
Каждая часть крыла находится в полете под действием некоторой силы сопротивления (давления) воздуха. Если сложить все эти воздушные силы (фиг. 44), то мы получим одну силу  $R$  (фиг. 44 и 45), которая, как мы знаем, является равнодействующей.

щей всех сил сопротивления или силой полного сопротивления (давления) воздуха, испытываемого крылом. Поэтому точка приложения силы  $R$ , т. е. точка  $C$ , называется центром давления крыла. (Принято считать, что центр давления лежит в точке пересечения силы  $R$  с хордой крыла.)



Фиг. 45. Движение в воздухе крыла. Точка  $C$  — центр давления крыла

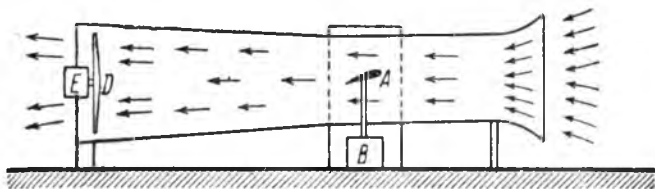
При движении крыла хорошего (обтекаемого) профиля сила полного сопротивления воздуха  $R$  направлена значительно более вверх (фиг. 45), чем в случае плоской или даже кривой пластинки. Иными словами, у крыла благодаря обтекаемой форме сила сопротивления (давления) воздуха идет главным образом на поддержание крыла, а не на торможение его.



Фиг. 46. Движение в воздухе крыла. Разложение силы полного сопротивления воздуха  $R$  на подъемную силу  $P$  и силу лобового сопротивления  $Q$ . Угол  $\alpha$  — угол атаки крыла.

Это нетрудно обнаружить, если разложить силу  $R$  по правилу параллелограмма на две ее составляющие (фиг. 46): на подъемную силу  $P$  и на силу лобового сопротивления  $Q$ ; из чертежа ясно, что чем более отвесно направлена сила  $R$ , тем больше подъемная сила  $P$  и тем меньше лобовое сопротивление  $Q$ . Запомним здесь, что у крыльев современных планеров подъемная сила всегда значительно больше, чем сила лобового сопротивления. В некоторых профилях при больших удлинениях крыла подъемная сила больше силы лобового сопро-

тивления в 25—30 раз. Угол, составляемый хордой крыла и направлением воздушного потока, т. е. угол  $\alpha$  — называется углом атаки крыла. От угла атаки зависит как величина силы  $R$ , так и местонахождение центра давления крыла. При малых углах атаки центр давления находится примерно на одной трети хорды от передней кромки крыла. При изменении угла атаки центр давления меняет свое положение.



Фиг. 47. Схема аэродинамической трубы:

*D — вентилятор; E — электромотор; A — модель крыла, B — аэродинамические весы.*

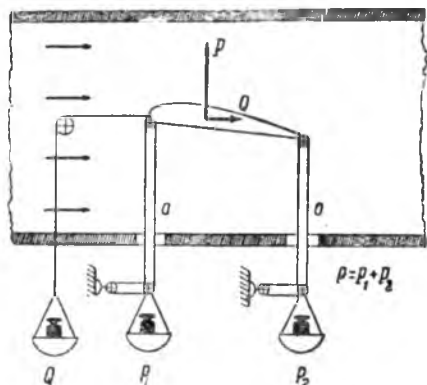
Выше мы указали четыре основные формы профилей крыльев. Однако для крыльев может быть найдено множество различных профилей, отличающихся разной кривизной и толщиной. Подбор нужного профиля — очень важная задача для конструктора, так как от правильно выбранного профиля в сильной степени зависят летные качества машины.

В зависимости от требований, которые предъявляются к строящемуся планеру, крыльям придается такой профиль, который при заданных требованиях будет наиболее выгодным.

В основу исследований над различными профилями крыльев кладется всегда опыт. Для этого служит аэродинамическая труба, о которой мы уже упоминали.

Аэродинамическая труба (фиг. 47) представляет собой канал, диаметр которого иногда достигает нескольких метров. В одном конце трубы устанавливается воздушный винт (вентилятор)  $D$ , приводимый в быстрое вращение электрическим мотором  $E$ . Когда

вентилятор начинает работать, в трубе создается очень сильный воздушный поток (ветер). Если в этот поток поместить крыло  $A$  (или модель крыла), то оно окажется в точно таких же условиях, какие имеют место при полете планера (или самолета): крыло в трубе будет испытывать такое же сопротивление воздуха. Крыло (или модель крыла) соединяется рычажками с очень чувствительными, так



Фиг. 48. Схема простейших аэродинамических весов для определения подъемной силы и силы лобового сопротивления крыла.

называемыми аэродинамическими весами, которые и позволяют определить лобовое сопротивление и подъемную силу крыла.

На фиг. 48 показан схематический разрез аэродинамической трубы с помещенной в ней моделью крыла, соединенной с простейшими аэродинамическими весами. Мы видим, что крыло укреплено на двух рычажках  $aa$ ; эти рычажки могут перемещаться вертикально и отклоняться горизонтально. К переднему концу крыла прикреплена нить, перекинутая через блок и имеющая на конце чашку для гирь. Нетрудно понять, что груз, положенный на чашку, дает величину лобового сопротивления, величина



же подъемной силы  $P$  равна сумме грузов  $P_1 + P_2$ , привешенных к концам вертикальных рычажков. Зная силы  $P$  и  $Q$ , можно при помощи правил сложения сил и правила рычага определить также величину и направление силы полного сопротивления воздуха  $R$  и местонахождение центра давления крыла.

Этот способ испытания крыльев (или их моделей) называется продувкой. Таким образом, испытывая, т. е. продувая в аэродинамической трубе, различные профили крыльев, удастся подбирать наиболее выгодные из них.

Заметим здесь же, что продувкой в аэродинамических трубах испытываются не только крылья, но и другие части планера (или их модели) — фюзеляж, подкосы и пр. Эти части не дают подъемной силы, а только лобовое сопротивление. Так как чрезвычайно важно уменьшить лобовое сопротивление планера, то и приходится подбирать наиболее выгодные, т. е. хорошо обтекаемые, формы для всех его частей. Этот подбор производится на основании результатов продувок таких деталей или их моделей в аэродинамической трубе.

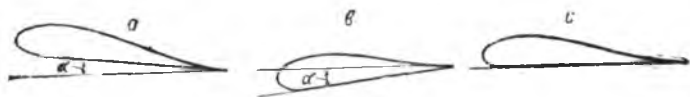
## ПОДЪЕМНАЯ СИЛА КРЫЛА

Крыло может двигаться в воздухе под различными углами атаки (фиг. 49). Угол атаки  $\alpha$  может быть положительным, отрицательным и нулевым. Положительным углом атаки (фиг. 49 а) называется такой, при котором встречный поток воздуха набегает на нижнюю поверхность крыла; отрицательным углом атаки (фиг. 49 в) называется такой, при котором потоку воздуха подставлена верхняя поверхность крыла, и нулевым углом атаки (фиг. 49 с) — угол, при котором направление потока и хорда крыла совпадают.

Подъемная сила крыла зависит от угла атаки. Чтобы понять эту зависимость, надо знать, как возникает подъемная сила крыла. Причины образова-

ния подъемной силы у пластинки, поставленной под углом к потоку, нам уже известны. Явления, происходящие в воздухе при движении крыла несколько иные, чем при движении пластинки; ведь форма крыла сильно отличается от формы пластинки!

Как же возникает подъемная сила крыла?



Фиг. 49. Движение в воздухе крыла под различными углами атаки: *a* — под положительным углом; *b* — под отрицательным; *c* — под нулевым.



Фиг. 50. Спектр обтекания воздухом крыла.

Пусть крыло движется под некоторым положительным углом атаки (фиг. 50). Мы видим, что воздух обтекает крыло сверху и снизу не одинаково (не симметрично), более отклоняясь сверху, чем снизу. Так как движение воздуха неразрывно и частицы воздуха, разошедшиеся перед крылом, должны снова сойтись позади него, то, очевидно, что струйки воздуха, обтекающие крыло сверху, должны за одно и то же время пройти более длинный путь, чем струйки, обтекающие крыло снизу. Отсюда понятно, что скорость струек воздуха, обтекающих крыло сверху, должна быть больше, чем скорость

струи, обтекающих его снизу; но по закону Бернулли, чем больше скорость струи воздуха, тем меньше в ней давление. Следовательно, над крылом образуется пониженное давление, а под крылом — повышенное.

Итак, вследствие разницы скоростей воздушных струй давление над крылом будет значительно меньше, чем под крылом. В результате этого и возникает сила, действующая снизу вверх, т. е. подъемная сила.

Почему и как изменяется подъемная сила при изменении угла атаки?

Если уменьшать угол атаки, то отклонение струй воздуха сверху крыла будет уменьшаться, а снизу — увеличиваться. При некотором отрицательном угле отклонение струй сверху и снизу крыла окажется одинаковым, иными словами, путь частиц воздуха сверху крыла окажется равным пути частиц снизу крыла (фиг. 51, 1). Вследствие этого уже не будет ни разности скоростей, ни разности давлений, а, следовательно, не будет и подъемной силы.

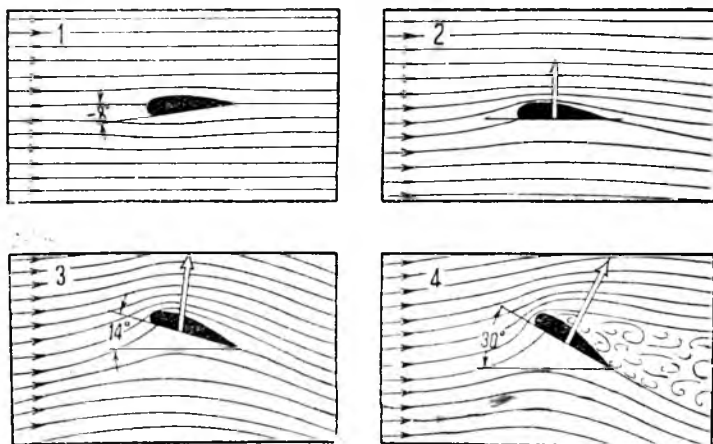
При угле атаки, равном нулю, отклонение струй воздуха сверху крыла будет больше, чем снизу (фиг. 51, 2); скорости струй будут различны и вследствие разности давлений над и под крылом появится подъемная сила.

При увеличении угла атаки (фиг. 51, 3) разность скоростей воздушных струй сверху и снизу крыла будет увеличиваться, а, следовательно, будет возрастать и подъемная сила. Но это увеличение подъемной силы будет происходить только до некоторого определенного угла атаки, а при дальнейшем увеличении угла атаки подъемная сила начнет быстро уменьшаться. Почему же?

Дело в том, что разность скоростей воздушных струй сверху и снизу крыла будет увеличиваться только до угла атаки в  $14\text{--}17^\circ$ ; при дальнейшем же увеличении угла атаки плавность обтекания крыла воздухом нарушается (фиг. 51, 4), появляется срыв струй с верхней поверхности крыла, образуются вихри и сильно возрастает лобовое сопротивление,

подъемная же сила резко уменьшается. Угол атаки, при котором это происходит, называется критическим.

Но еще задолго до критического угла атаки крыло работает уже в невыгодных аэродинамических условиях. Хотя до угла в  $14\text{--}17^\circ$  подъемная сила и воз-



Фиг. 51. Изменение подъемной силы крыла при изменении угла атаки.

растает, но одновременно с ней быстро растет и лобовое сопротивление.

Самым выгодным углом атаки является такой, при котором отношение подъемной силы к лобовому сопротивлению, т. е. значение  $\frac{P}{Q}$ , будет наибольшим.

Это отношение, показывающее, во сколько раз подъемная сила крыла больше его лобового сопротивления, называется качеством крыла.

Угол атаки, соответствующий наибольшему качеству крыла, называется наилучшим углом атаки. Для большинства профилей этот угол не превышает  $3\text{--}4^\circ$ .

# ПОЧЕМУ ВЗЛЕТАЕТ И ЛЕТИТ ПЛАНЕР

## ПОЧЕМУ ВЗЛЕТАЕТ ВОЗДУШНЫЙ ЗМЕЙ

Теперь, когда мы знаем, что такое сопротивление воздуха, от каких причин оно зависит и как благодаря ему возникает при движении пластинки и крыла подъемная сила, нам нетрудно будет понять и полет планера. Но для того чтобы понять это лучше, применим сначала наши познания о сопротивлении воздуха к обыкновенному детскому змею и разберем, почему и при каких условиях он взлетает. Далее разберем, какие силы действуют на самолет в его полете и затем уже перейдем к полету планера.

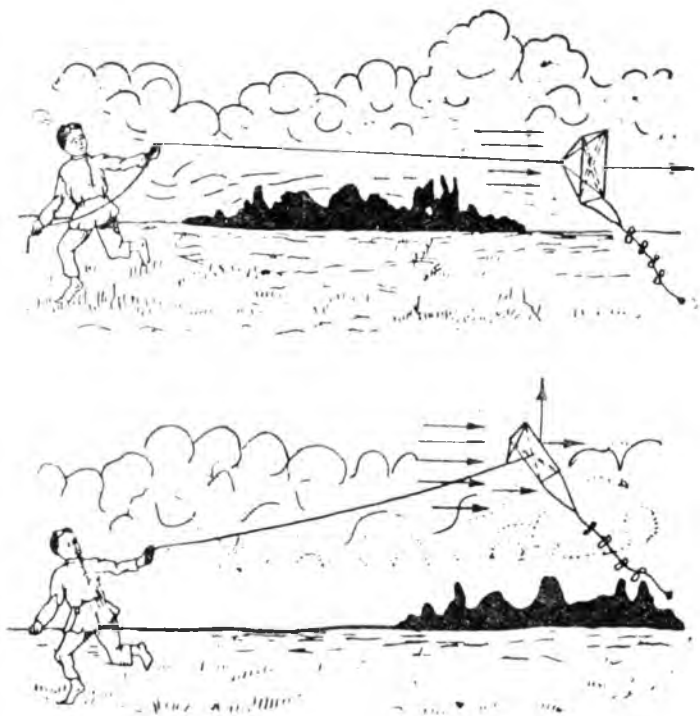
Всякий, кто строил и пускал бумажного змея, отлично знает, насколько важно правильно прикрепить уздечку к драпкам змея, т. е. те три короткие нитки, к связанным концам которых и привязывается конец леера<sup>1</sup>. И каждый мальчуган из практики знает, что две из этих ниток, равные по длине, должны быть прикреплены к верхним концам драпок, а третья — чуть покороче их — к центру змея. Но для наших целей мы сделаем сначала не так.

Предположим, что мы не знали, как построить уздечку, и привязали не три нитки, как было указано, а четыре — все равной длины — к четырем концам драпок. Если побежать теперь с таким змеем против ветра (фиг. 52, верхний рисунок), то сразу и обнаружится, что уздечку мы построили неправильно; змей несколько не поднимется и будет нести только на высоте руки, «ковыляя» во все стороны. По натяжению леера рука будет чувствовать, что змей как бы сопротивляется движению — и только. В чем же тут дело?

Дело в том, что вследствие неправильной конструкции уздечки поверхность змея оказалась пер-

<sup>1</sup> Леером называется нитка, на которой запускают змея.

пендикулярной к встречному потоку воздуха, т. е. под углом  $90^\circ$ . Но из предыдущего мы знаем, что если пластинка движется под углом  $90^\circ$  (фиг. 37), то никакой подъемной силы у нее не получается, и



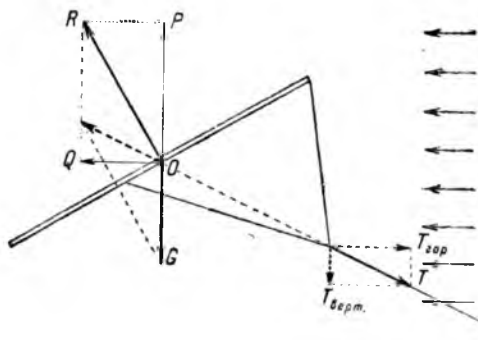
Фиг. 52. Полет воздушного змея: *вверху* — с неправильно прикрепленной уздечкой; *внизу* — с правильно прикрепленной уздечкой.

все сопротивление воздуха оказывается только лобовым сопротивлением. Ясно, что у нашего змея не могло получиться никакой подъемной силы, потому он и не мог подняться.

Если же теперь мы построим уздечку, как полагается, то не успеем пробежать и десятка шагов, как змей поднимется (фиг. 52, нижний рисунок), если,

конечно, во всех других отношениях он построен правильно.

Во втором случае благодаря правильной конструкции уздечки поверхность змея оказалась под некоторым углом атаки к встречному потоку воздуха; вследствие этого сила полного сопротивления воздуха  $R$  будет направлена, как мы знаем из преды-



Фиг. 53. Полет воздушного змея. Разложение силы полного сопротивления воздуха на подъемную силу и силу лобового сопротивления.

дущего, не против движения змея, а под некоторым углом вверх. Если не принимать во внимание влияния хвоста, то силы, действующие на змея, расположатся примерно так, как указано на фиг. 53. Сила сопротивления воздуха  $R$  уравнивает действие силы тяжести  $G$  змея и силы тяжести и натяжения леера  $T$ . Разлагая силу  $R$  на две, как мы делали это в случае с пластинкой, мы получим две силы  $P$  и  $Q$ , т. е. подъемную силу и силу лобового сопротивления.

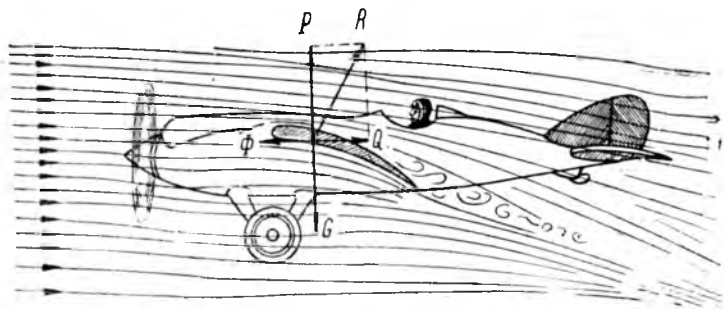
Итак, наш змей поднимается благодаря возникновению подъемной силы  $P$ . Следовательно, сила  $P$  уравнивает вес змея и вертикальную составляющую  $T_{верт.}$  силы натяжения леера. Мы знаем еще, что змей, поднявшись на длину вытянутого леера, остается в равновесии. Следовательно, и силу лобового сопротивления  $Q$  тоже уравнивает какая-то сила. Какая же это сила? Нетрудно понять, что

силу лобового сопротивления  $Q$  уравнивает горизонтальная составляющая силы натяжения троса  $T_{гор}$ .

## ПОЧЕМУ ВЗЛЕТАЕТ И ЛЕТИТ САМОЛЕТ

Зная, какие силы возникают при движении крыла в воздухе и почему взлетает воздушный змей, легко понять и взлет самолета.

Дело в том, что крылья самолета тоже установлены под некоторым углом атаки к воздушному по-



Фиг. 54. Схема сил, действующих на самолет в горизонтальном полете.

току, который они встречают. Но для того чтобы создать этот воздушный поток, самолету необходим, очевидно, разбег. Для этого самолет и ставится на колеса. Для подъема змея мальчик бежит против ветра и тянет змея за нитку. Самолет же тянет воздушный винт (пропеллер), приводимый в быстрое вращение мощным мотором.

Как только самолет начинает разбег, и его крылья начинают встречать воздушный поток, возникает сила сопротивления воздуха, а следовательно, и подъемная сила. По мере того как скорость самолета возрастает, возрастает и сопротивление воздуха, увеличивается, значит, и подъемная сила. В тот момент, когда подъемная сила станет равной весу самолета, последний оторвется от земли. При избытке тяги,



развиваемой винтом, скорость самолета возрастает настолько, что самолет легко забирает высоту.

Предположим, что летчик так отрегулировал обороты мотора, что тяги хватает как раз только на горизонтальный полет.

Пусть, следовательно, самолет летит горизонтально, прямолинейно и с установившейся скоростью (фиг. 54).

По закону механики при прямолинейном и равномерном движении все силы, действующие на тело, должны находиться в равновесии. Следовательно, все силы, действующие на наш самолет, находятся в равновесии.

Какие же это силы?

Их четыре: 1) подъемная сила крыльев  $P$ ; 2) сила лобового сопротивления всего самолета (крыльев и корпуса)  $Q$ ; 3) сила тяжести (вес самолета)  $G$  и 4) сила тяги воздушного винта  $\Phi$ .

Как же эти силы уравнивают друг друга?

При горизонтальном полете подъемная сила  $P$  равна весу самолета  $G$ . Первая сила направлена вертикально вверх, вторая — всегда вертикально вниз, следовательно, сила  $P$  уравнивает силу  $G$ . Сила лобового сопротивления  $Q$  направлена горизонтально и в сторону, обратную направлению движения (она тормозит это движение), а сила тяги винта  $\Phi$  направлена тоже горизонтально, но по направлению движения; так как при горизонтальном прямолинейном полете все силы должны уравнивать друг друга, то, очевидно, эти две остающиеся силы, направленные в противоположные стороны, равны и уравнивают друг друга.

Эта схема сил, под действием которых находится самолет в горизонтальном полете, дана в несколько упрощенном виде; именно для простоты мы предполагаем, что центр тяжести самолета и центр давления крыльев совпадают в одной точке, тогда как в действительности эти две точки обычно не совпадают. Все же эта схема позволяет понять, под действием каких сил самолет летит.

## ПОЧЕМУ ВЗЛЕТАЕТ ПЛАНЕР

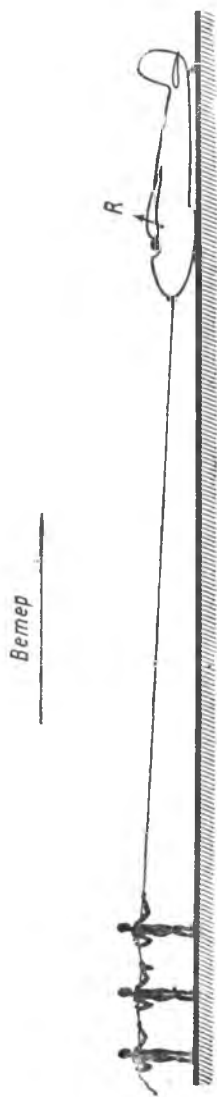
Взлет планера напоминает, с одной стороны, взлет самолета, а с другой, — взлет змея. Почему так, мы сейчас поймем.

Крылья планера, как и самолета, неподвижны и также, как и у самолета, устанавливаются под некоторым углом атаки к направлению движения. Но у планера нет мотора и воздушного винта, и он не может сам начать движение. Следовательно, для того чтобы сообщить планеру горизонтальную скорость, необходимую для возникновения у его крыльев подъемной силы, ничего другого не остается, как запустить планер подобно змею.

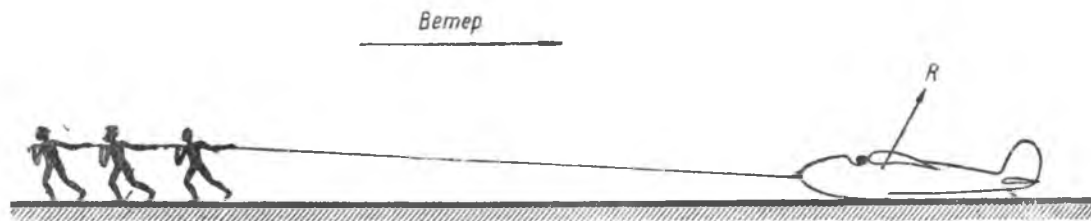
О современном способе запуска планера будет рассказано в одной из следующих глав, когда будет идти речь о технике полета на планере.

Несколько лет назад применялся менее совершенный способ, и сейчас мы рассмотрим именно этот способ, потому что на нем легче понять, почему и как взлетает планер.

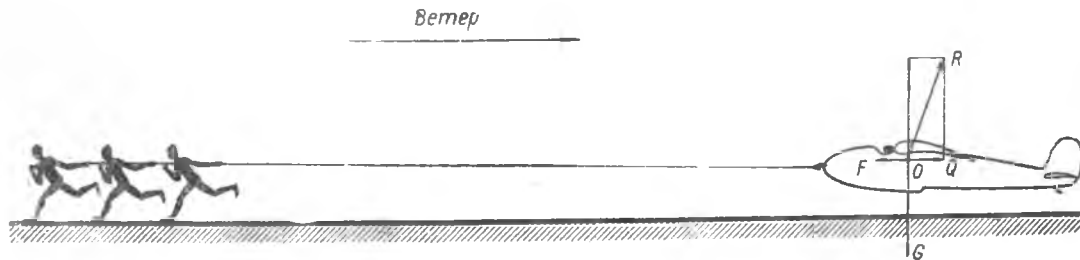
Пусть планер стоит против ветра (фиг. 55). На его носу имеется крючок, отогнутый вниз. За этот крючок зацепляется железное кольцо, к которому привязаны два длинных



Фиг. 55. Запуск планера. Для запуска планер всегда ставится строго против ветра.



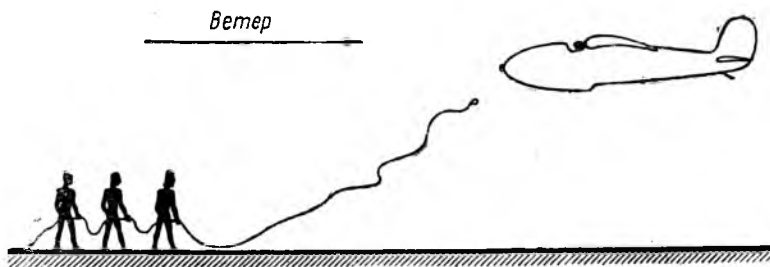
Фиг. 56. Запуск планера. Возрастание силы полного сопротивления крыльев происходит вследствие увеличения скорости движения.



Фиг. 57. Запуск планера. Схема сил, действующих на планер в момент отрыва от земли.

тонких стальных троса (или веревки). За концы тросов берутся несколько человек и, слегка натянув тросы, чтобы кольцо держалось на крючке, ждут команды.

Так как планер стоит против ветра, то еще на месте его крылья встречают воздушный поток, скорость которого равна, конечно, скорости ветра. Когда люди, держащие концы троса, начинают бежать против ветра



Фиг. 58. Запуск планера. Взлет планера происходит за счет избытка приобретенной при запуске скорости.

и планер на своей лыже начинает скользить по земле (фиг. 56), скорость воздушного потока, встречаемого крыльями, возрастает; увеличивается, следовательно, сила сопротивления воздуха  $R$ , в результате чего и создается вскоре подъемная сила, достаточная для отрыва планера от земли.

На фиг. 57 показан момент отрыва планера от земли. Если мы силу полного сопротивления воздуха, встречаемого крыльями планера, разложим, как делали раньше, на две силы по горизонтали и вертикали, то получим две силы — подъемную силу  $P$  и силу лобового сопротивления  $Q$ . Ясно, что планер оторвется от земли в тот момент, когда подъемная сила станет равной весу планера, т. е. подъемная сила  $P$  уравновесит силу тяжести  $G$ , приложенную в центре тяжести планера; для простоты мы опять предполагаем, что центр тяжести планера и центр давления крыльев совпадают в одной точке  $O$ .

Но какая же сила уравнивает при этом силу

лобового сопротивления  $Q$  крыльев (и корпуса) планера?..

Конечно, та сила  $F$ , которую прилагают люди, тянущие планер. Эта сила, следовательно, заменяет силу тяги воздушного винта у самолета.

Если ветер силен, и люди развили значительную скорость, то скорость воздушного потока, встречаемого крыльями, а следовательно, и сопротивление воздуха  $R$  возрастут настолько, что планер взмоет на несколько метров (фиг. 58), если, конечно, пилот планера намеренно не мешает этому с—помощью рулей.

Вскрсе после того как планер оторвался от земли и набрал скорость, трос слабеет, и кольцо под действием своего веса спадает с крючка. Планер таким образом остается с этого момента предоставленным самому себе.

Как же он поведет себя дальше?

## ПОЧЕМУ ПЛАНЕР ЛЕТИТ

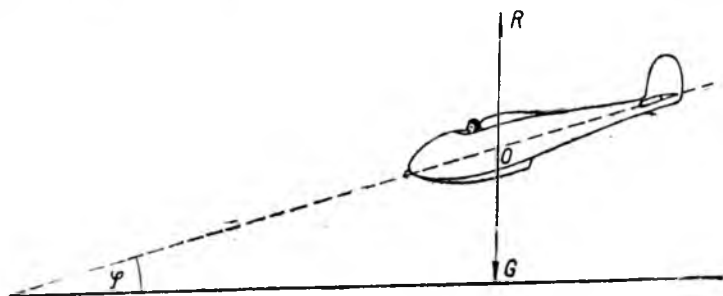
Воздушный змей, поднявшись в воздух, сохраняет равновесие и летает, пока есть ветер и пока мы держим лееp. Если же мы выпустим лееp (или он оборвется), то змей не сможет держаться в воздухе и, кувыркаясь, упадет на землю. То же самое может произойти после взлета и с планером, поскольку у него нет мотора и воздушного винта, который сообщал бы ему нужную скорость, необходимую, как мы теперь знаем, для создания подъемной силы у его крыльев. Значит, для того чтобы планер после взлета не упал подобно змею, необходимо сохранить скорость, которую он приобрел при запуске. Как же этого достигнуть?

Во время запуска планер приобретает скорость за счет тяги, которую развивают люди, запускающие планер. Естественно, что после того как планер взлетит и кольцо соскочит с крючка, тяга исчезнет. Для того чтобы планер не потерял скорость (и не упал подобно змею), пилот должен немного наклонить нос

планера и тогда под действием силы тяжести планер начинает спускаться по наклонной вниз.

Посмотрим, под действием каких сил будет находиться планер при спуске, и тогда нам станет понятно, почему он сохраняет скорость, приобретенную при запуске, и почему он летит по наклонной вниз.

При спуске на планер действует (фиг. 59) только две силы: сила сопротивления воздуха  $R$  и сила тя-

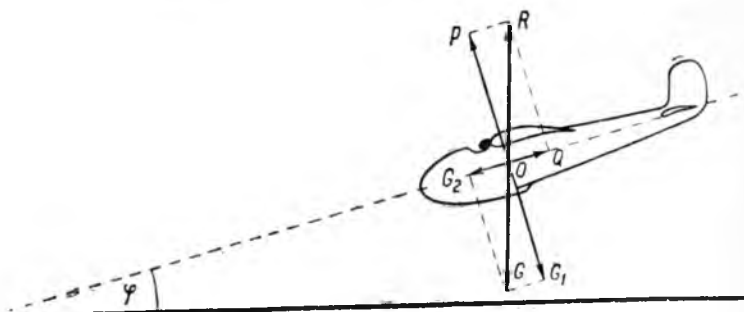


Фиг. 59. Скользящий полет (планирование) планера. Силу тяжести  $G$  уравнивает сила давления воздуха на крылья  $R$ .

жести  $G$ . Мы знаем, что при прямолинейном равномерном движении силы, действующие на тело, должны уравнивать друг друга. Следовательно, силы  $R$  и  $G$  должны быть равны и направлены в противоположные стороны. Так как сила тяжести всегда направлена вертикально вниз, то, очевидно, сила сопротивления воздуха  $R$  будет направлена вертикально вверх. Вот на это прежде всего следует обратить внимание, так как раньше, рассматривая взлет планера (и горизонтальный полет самолета), мы видели, что сила полного сопротивления воздуха  $R$  была направлена не вертикально вверх, а только под углом вверх; вертикально же вверх там была направлена подъемная сила  $P$ , т. е. только часть силы  $R$ .

Теперь разложим силу  $R$  по правилу параллелограмма на две силы: на подъемную силу  $P$  и силу лобового сопротивления  $Q$  (фиг. 60), имея в виду, что сила  $Q$  должна быть направлена в сторону, противо-

положительную движению, а сила  $P$  — перпендикулярно к ней. Таким же образом разложим и силу тяжести  $G$  на две силы:  $G_1$  и  $G_2$ , имея ввиду, что эти силы должны быть направлены в стороны, противоположные силам  $P$  и  $Q$ , так как они должны их уравнивать (ведь сила  $R$  уравнивает силу  $G$ ). Итак, вместо двух сил мы получим четыре. Рассмотрим их.



Фиг. 60. Скользящий полет планера. Схема сил, действующих на планер в полете.

Во-первых, мы видим, что подъемная сила  $P$  уже не равна силе тяжести  $G$ , как это было при отрыве планера от земли, а меньше ее, ибо она уравнивает уже не всю силу тяжести  $G$ , а только одну ее составляющую — силу  $G_1$ . Иными словами, подъемная сила крыльев теперь меньше веса планера, вследствие чего он и не может держаться в воздухе, не теряя высоты, т. е. не может лететь горизонтально, а будет спускаться.

Во-вторых, мы видим, что силу лобового сопротивления  $Q$  уравнивает теперь не сила тяги (ее теперь нет), а часть силы тяжести, именно ее вторая составляющая — сила  $G_2$ . Из приводимой нами схемы видно, что это единственная сила, направленная по линии полета. Следовательно, эта сила заменяет силу тяги и сообщает планеру ту скорость, которая необходима ему для полета.

Итак, мы видим теперь, что планер самостоятельно не может ни лететь горизонтально, ни тем

более забирает высоту подобно самолету, а может только спускаться по наклонной вниз. Спуск планера называется планированием, а угол  $\varphi$ , составляемый направлением полета и горизонтом, — углом планирования.

Но если планер не может летать горизонтально и забирает высоту, то как же объяснить тогда полеты на планерах на большие расстояния по много часов подряд и на высоту многих сотен метров?! Как будто противоречие, хотя на самом деле никакого противоречия нет. Заметьте, что планер самостоятельно (т. е. подобно самолету) не может летать горизонтально и забирает высоту. Но он может летать горизонтально и забирает высоту, как мы знаем, при некоторых метеорологических условиях, а именно при наличии восходящих потоков воздуха. Об этом мы подробно расскажем дальше, а теперь познакомимся с устройством планера и управлением им.

## ГЛАВА IV

# УСТРОЙСТВО ПЛАНЕРА

## ГЛАВНЫЕ ЧАСТИ ПЛАНЕРА И ИХ НАЗНАЧЕНИЕ

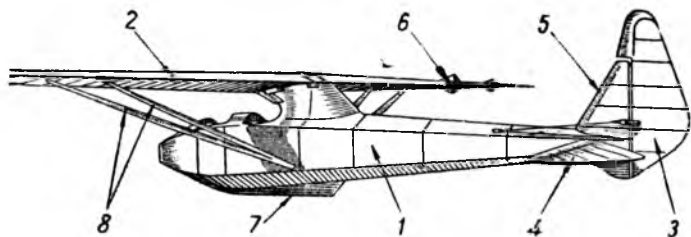
Основным отличием планера от самолета, как мы знаем, является то, что он не имеет мотора и воздушного винта. Но это не значит, что, сняв с самолета мотор и пропеллер, можно будет летать на нем, как на планере. Конструкция самолета рассчитана на полет при помощи тяги, планер же летает без всякой тяги. Отсюда понятно, что конструкция планера должна быть много легче, чем самолета.

Если, например, самолет имеет крылья площадью  $15 \text{ м}^2$  и весит  $1200 \text{ кг}$ , то каждый квадратный метр поверхности его крыльев поддерживает в воздухе или, как говорят, несет  $1200 : 15 = 80 \text{ кг}$ . Это есть так называемая нагрузка на  $1 \text{ м}^2$  крыльев. У совре-



менных самолетов эта нагрузка бывает от 30 до 140 кг на 1 м<sup>2</sup>. У планерсв же нагрузка на 1 м<sup>2</sup> крыльев обычно не превышает 15—20 кг. Иными словами, при равных поверхностях крыльев планера и самолета планер должен весить в несколько раз меньше, чем самолет.

Итак, второе основное отличие планера от самолета — это легкость конструкции.



Фиг. 61. Устройство фюзеляжного планера:

1 — фюзеляж; 2 — крылья; 3 — руль поворота; 4 — руль высоты; 5 — киль; 6 — элерон; 7 — лыжи; 8 — подкосы.

Отсутствие мотора и винта, с одной стороны, а с другой, — легкость конструкции имеют своим следствием то, что планеры как по внешнему виду, так и в отдельных деталях значительно отличаются от самолетов. Но так как принцип устройства тех и других как летательных машин тяжелее воздуха с неподвижными крыльями один и тот же, то и устройство их в основном одинаково: те же главные части и органы управления.

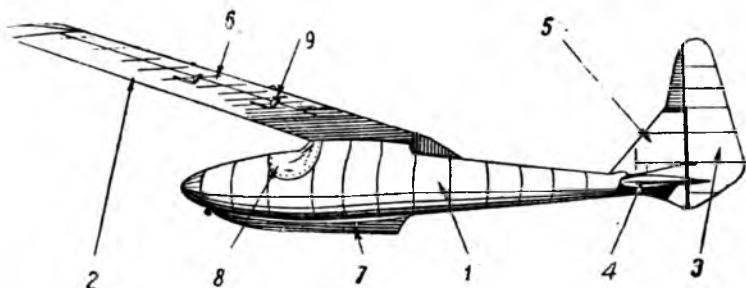
Так как планеры строятся для разных целей, то и друг от друга они часто значительно отличаются формами и размерами крыльев, их расположением, конструкцией корпуса, весом и пр. Но, разумеется, вполне достаточно познакомиться с устройством хотя бы одного наиболее типичного планера, чтобы иметь ясное представление об устройстве планера вообще, необходимое для понимания его полета.

Мы рассмотрим устройство фюзеляжного планера, который является пока наиболее совершенным и слу-

жит одинаково как для тренировочных, так и для рекордных полетов.

Главными частями такого планера (фиг. 61 и 62) являются: крылья 2 с элеронами 6, фюзеляж 1, хвостовое оперение 3, 4 и 5, и лыжа под фюзеляжем 7.

Крылья поддерживают всю машину в воздухе или, как говорят, несут, почему и называются иногда несущими поверхностями (плоско-



Фиг. 62. Устройство фюзеляжного планера:

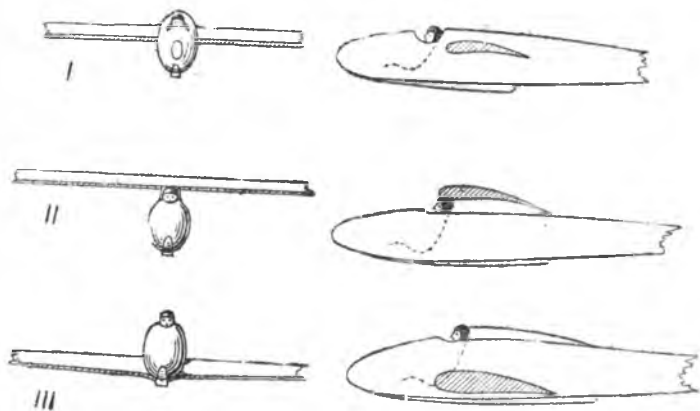
1 — фюзеляж; 2 — крылья; 3 — руль поворота; 4 — руль высоты; 5 — киль; 6 — элерон; 7 — лыжа; 8 — кабина пилота; 9 — «кабанчик».

стям). Они, как мы знаем, неподвижны и накрепко соединены с фюзеляжем в центральной своей части болтами, а снизу иногда — косыми стойками или подкосами 8 (фиг. 61). Если же крылья не имеют подкосов, то называются свободнонесущими: планер в таком случае называется также свободнонесущим (фиг. 62).

На концах крыльев с задней стороны находятся маленькие подвижные крылышки 6, сделанные подобно с главным крылом; эти крылышки летчик может отклонять вверх и вниз; при чем, если одно из них отклоняется вверх, то другое в это время — вниз и наоборот. Крылышки эти называются элеронами и служат, как мы увидим дальше, для сохранения поперечной устойчивости планера.

На фиг. 62 хорошо виден элерон 6 и маленькие кронштейны или так называемые кабанчики 9 на

нем, служащие для отклонения элерона вверх и вниз. К этим кабачикам прикреплены тросы, которые внутри крыла перекинуты через блоки и протянуты к месту, где сидит летчик. Здесь они крепятся к особому рычагу, двигая которым летчик может управлять элеронами. Для большей надежности эти тросы на отдельных участках иногда заменяют жесткими тягами (конечно, металлическими).



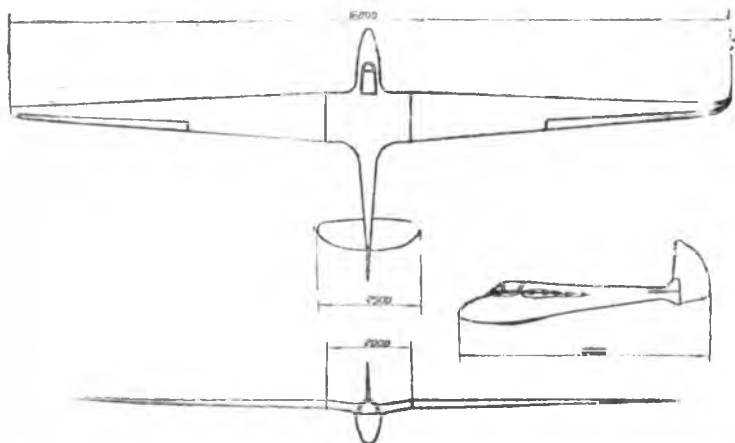
Фиг. 63. Конструкция планера-моноплана в зависимости от расположения крыльев относительно фюзеляжа: I — *среднеплан*; II — *высокоплан*; III — *низкоплан*.

Все современные планеры делаются монопланами, т. е. имеют крылья только в один ряд, потому что такая конструкция в аэродинамическом отношении более выгодна, чем биплан. Но крылья прикрепляются к фюзеляжу по-разному: иногда над ним, иногда под ним или же занимают среднее между этими положениями (фиг. 63). В зависимости от этого планер называется соответственно: *высокопланом* (фиг. 63, II), *низкопланом* (фиг. 63, III) и *среднепланом* (фиг. 63, I). В последнее время больше всего строят высокопланы.

Форма крыльев в плане (т. е. если смотреть на них сверху) бывает у современных планеров самой разно-

образной, но чаще всего она примерно такова, как на фиг. 64, где дан схематический вид планера в плане, а также спереди и сбоку (схема планера ГН-7 конструкции Г. Грошева), или как на фиг. 65 (схема фигурного планера Г-9 конструкции Грибовского).

Крылья планера представляют собой либо два отдельных полукрыла (левое и правое), которые крепятся или непосредственно к фюзеляжу, или к так

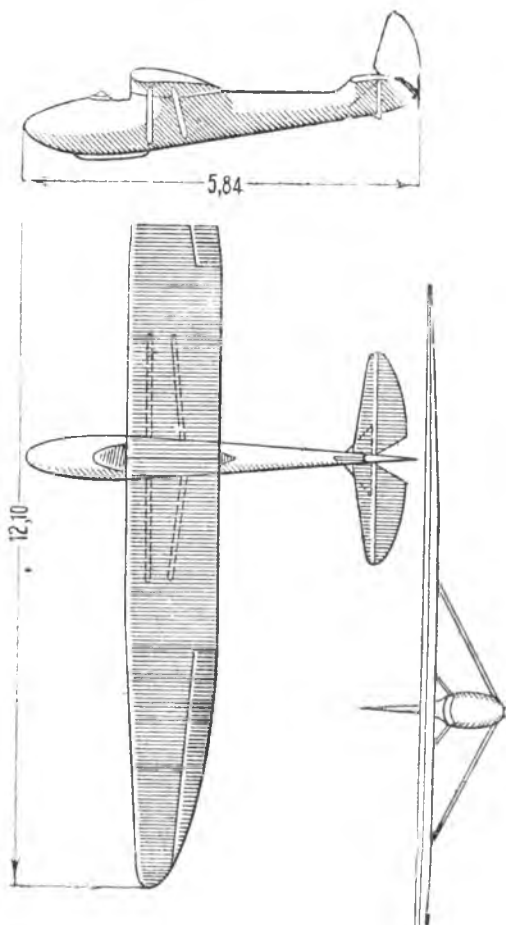


Фиг. 64. Схема рекордного планера ГН-7 конструкции Грошева (вид сверху, сбоку и спереди).

называемому центроплану, или составляют одно сплошное крыло, что имеет много преимуществ в смысле прочности, но усложняет перевозку планера. В том и другом случае конструкция крыла делается с таким расчетом, чтобы она обладала максимальной прочностью при наименьшем весе. С этой целью скелет крыла делается в виде сложной деревянной фермы, общий вид которой хорошо виден на фиг. 66.

Основу крыла составляют две продольные балки (иногда — одна), называемые лонжеронами. Конструкция лонжеронов бывает различной, но чаще всего теперь применяется так называемый коробчатый лонжерон. Такой коробчатый лонжерон сделан

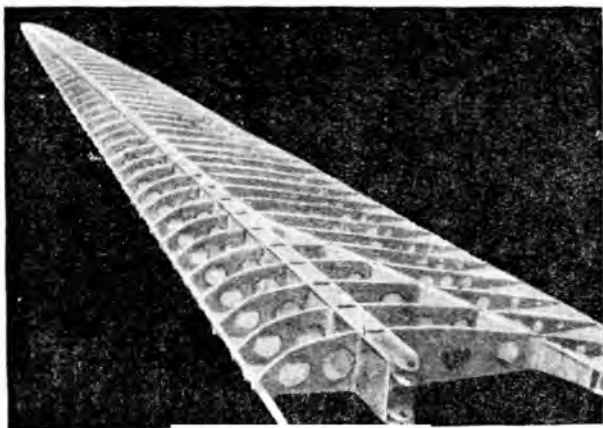
из двух деревянных (обычно сосновых) реек, которые называются нижней и верхней полками, и двух



Фиг. 65. Схема фигурного планера Г-9 конструкции Грибовского.

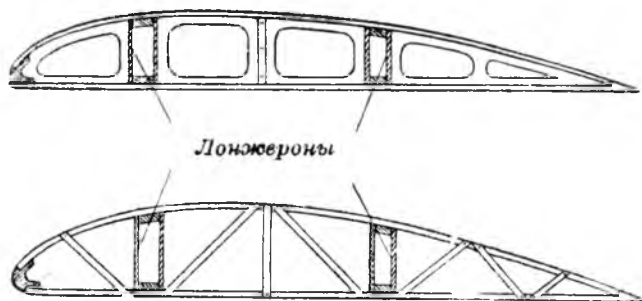
боковых стенок из клееной фанеры (обычно березовой). Таким образом получается как бы длинная, узкая коробка, очень прочная и в то же время лег-

кая. Такой лонжерон и называется коробчатым. Боковая стенка лонжерона хорошо видна на фиг. 66.



Фиг. 66. Скелет крыла рекордного планера (хорошо виден коробчатый лонжерон).

На лонжероны надеваются поперечные ребра, называемые нервюрами (фиг. 67), хорошо видимые



Фиг. 67. Формы нервюр.

также на фиг. 66. Нервюры делаются обычно из сосновых планок с фанерными стенками, на которых для облегчения делаются большие вырезы. Из при-

веденных рисунков нетрудно видеть, что нервюры придают крылу тот необходимый удобообтекаемый профиль, о важности которого мы уже знаем. Спереди и сзади нервюры соединяются между собой деревянными рейками и растягиваются проволокой или соединяются деревянными распорками.

Таким образом крыло планера представляет собой ажурную, сравнительно легкую, но очень прочную ферму. Эта ферма обтягивается полотном, после чего крыло покрывается специальным водонепроницаемым лаком — аэролаком, который натягивает полотно. После этого крыло покрывается краской и полируется.

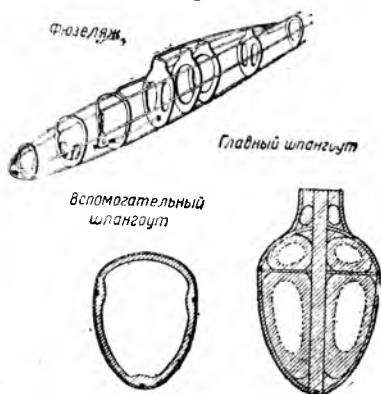
Очень часто теперь крыло вместо полотна обшивают тонкой фанерой, которую затем красят и лакируют. В этом случае поверхность крыла получается более жесткой и лучше держит форму крыла в полете.

Фюзеляж является корпусом всей машины. К нему крепятся крылья, хвостовое оперение и лыжа. Внутри фюзеляжа, в передней его части, помещается летчик, а перед ним —

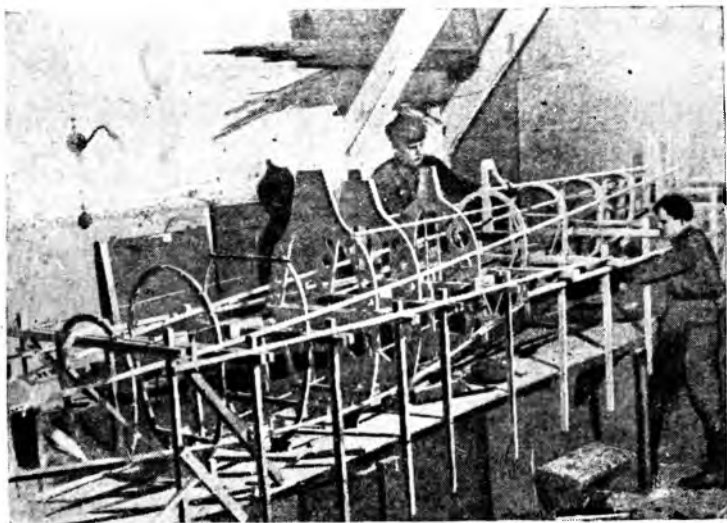
Фиг. 68 Конструкция фюзеляжа рекордного планера (шпангоуты показаны отдельно в увеличенном виде).

рычаги, при помощи которых он управляет планером. Для того чтобы уменьшить лобовое сопротивление, фюзеляжу придают удобообтекаемую форму, напоминающую туловище рыбы, причем наибольшая толщина его приходится на то место, где помещается летчик, а к заднему концу он плавно сходит на-нет. Кабина летчика для уменьшения сопротивления воздуха часто имеет крышку (из целлюлоида) обтекаемой формы. Эта крышка и называется поэтому обтекатель.

Фюзеляж чаще всего делается овального сечения



(фиг. 68). Он состоит из продольных деревянных балок, называемых лонжеронами. Лонжероны скреплены между собой фанерными рамами, которые называются шпангоутами; некоторые из них — основные — называются главными, остальные — вспомогательными. Сборка фюзеляжа (фигурного планера



Фиг. 69. Сборка фюзеляжа фигурного планера Г-9, конструкции Грибовского.

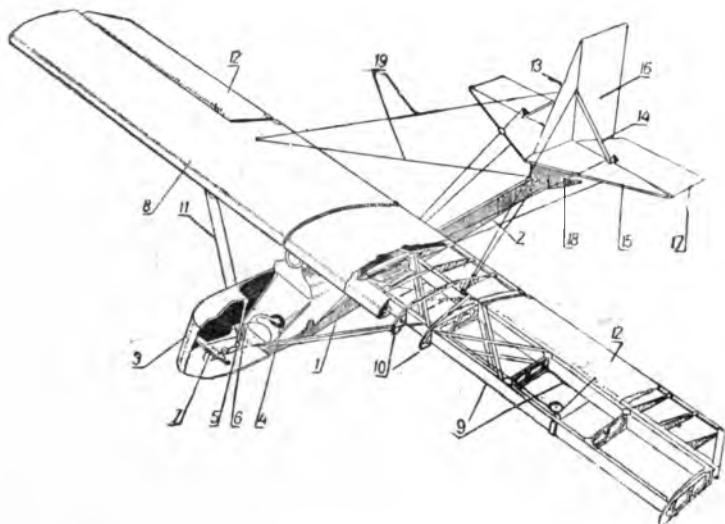
Г-9 конструкции Грибовского) показана на фиг. 69. Сверху остов фюзеляжа обшивается тонкой фанерой и покрывается краской.

Учебные планеры обычно не имеют фюзеляжа, основой же машины в таком случае служит прочная балка, на передней части которой и помещается сидение летчика (фиг. 70).

В целях уменьшения сопротивления воздуха тело летчика, после того как он сядет на свое место, прикрывается обтекателем, который придает передней части учебного планера вид гондолы.



Хвостовое оперение состоит (см. фиг. 70) из руля поворотов 16, руля высоты 17, киля 13 и стабилизатора 15. У большинства планеров стабилизатор отсутствует (фиг. 71).



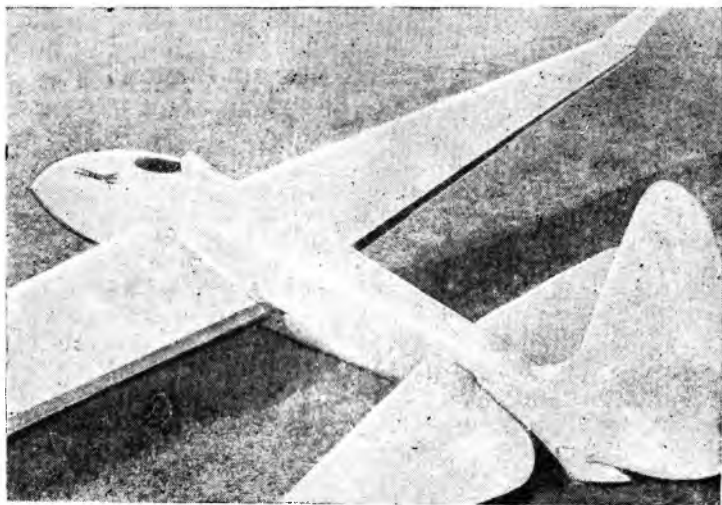
Фиг. 70. Схема учебного планера УС-4:

1 — центральная ферма фюзеляжа; 2 — хвостовая балка; 3 — съемный обтекатель; 4 — сиденье пилота; 5 — ручка управления; 6 — ручка самопуска; 7 — педаль управления; 8 — крыло; 9 — лонжероны крыла; 10 — нервюры; 11 — подкосы крыльев; 12 — элероны; 13 — киль; 14 — подкосы киля; 15 — стабилизатор; 16 — руль поворотов; 17 — руль высоты; 18 — костыль; 19 — расчалки.

Руль поворотов, как показывает само название, служит для поворачивания планера вправо и влево, т. е. для изменения направления полета, почему этот руль часто называется еще рулем направления. Чтобы планер устойчиво летел в данном ему летчиком направлении, добавлен еще киль, укрепленный неподвижно.

Руль высоты служит для изменения угла планирования. Перед ним и подобно с ним устраи-

вается иногда еще стабилизатор (фиг. 70), который служит для придания устойчивости полета в вертикальной плоскости, т. е. для того, чтобы планер лучше сохранял тот угол планирования, который дал ему летчик с помощью руля высоты. Стабилизатор



Фиг. 71. Планер с хвостовым оперением без стабилизатора.

укрепляется неподвижно и представляет собой небольшое горизонтальное крыло удобообтекаемого профиля, который ему придают нервюры.

Руль высоты, находящийся сзади стабилизатора, представляет как бы его продолжение, образуя с ним крыло одного профиля; это достигается тем, что нервюры руля высоты являются по своей форме концами нервюр стабилизатора. Руль высоты поворачивается на поперечной оси, которая делается обычно из стальной трубы.

Лыжа под фюзеляжем (см. фиг. 61 и 62) заменяет колесное шасси, имеющееся у самолета и служащее для разбега при взлете и пробеге после посадки. Колесное шасси для планера невыгодно

(раньше его делали) так как оно много весит и дает большое сопротивление. Скорость планера при взлете и посадке небольшая, и лыжа вполне заменяет колесное шасси. Чтобы смягчить удары, лыжа прикрепляется к фюзеляжу не жестко, а на резиновом амортизаторе.

В заключение этого раздела укажем основные технические данные современных рекордных планеров. Эти данные приблизительно таковы (в скобках указаны принятые обозначения):

|                                                                        |                                                    |
|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Размах крыла ( $L$ ) . . . . .                                         | 15—20 м                                            |
| Площадь крыла ( $S$ ) . . . . .                                        | 13—25 м <sup>2</sup>                               |
| Удлинение крыла ( $\lambda$ ) . . . . .                                | 10—30                                              |
| Полетный вес планера, т. е. все<br>планера с пилотом ( $G$ ) . . . . . | 200—400 кг                                         |
| Нагрузка на 1 м <sup>2</sup> крыла ( $p$ ) . . . . .                   | от 10 (для учебных)<br>до 15—20 кг (для рекордных) |

## ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЛАНЕРА

Пилот управляет планером тем же способом, как и самолетом. Он сидит в передней части фюзеляжа или гондолы, и перед ним находится вертикальный подвижный рычаг, называемый обычно ручкой, которым пилот управляет рукой. Под ногами пилота впереди находится второй рычаг — горизонтальный; в концы этого рычага пилот упирается ногами, почему этот рычаг и называется ножным управлением, а иногда просто — педалями. На фиг. 72 показано положение пилота в учебном планере.

Теперь посмотрим подробнее, как устроены рычаги управления и как они соединены с элеронами и рулями.

На фиг. 73 дана принципиальная схема устройства, с помощью которого пилот управляет планером, а на фиг. 74 — конструкция такого управления, осуществленная на учебном планере УС-4. Пилот сидит на сиденье 1; перед ним, как мы уже знаем, находится ручка 2, а внизу, впереди — рычаг 3, в который он упирается ногами. От ручки, которую можно

наклонить вперед, назад и в стороны идут (через блок 7) тросы 6 к рулю высоты, где прикрепляются к маленьким вертикальным рычажкам; ручка соединена с продольной стальной трубой 4, которая в свою очередь соединена с горизонтальным поперечным рычагом 5; от этого рычага идут тросы 8 к элеронам (на фиг. 74 — через промежуточную тягу 8а). От ножного же рычага 3 идут тросы 9 к рулю поворотов.

Пусть пилот хочет изменить направление полета и повернуть вправо. Для этого он слегка толкает вперед правую ногу (говорят «дает ногу»), вследствие чего (фиг. 73 и 74) ножной рычаг поворачивается на

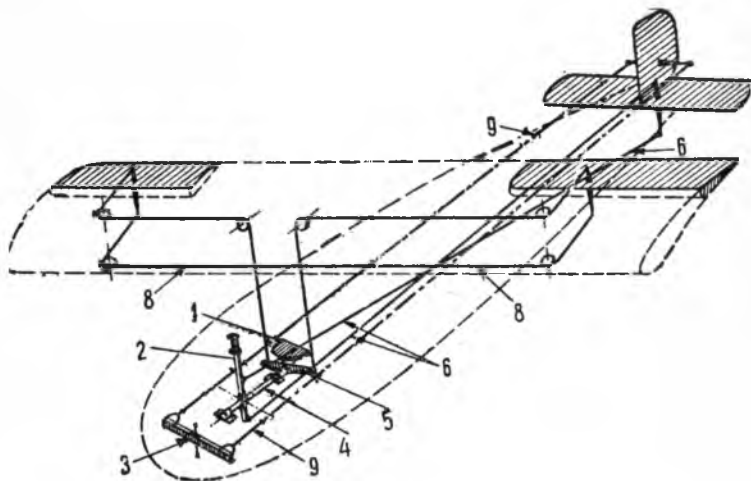


Фиг. 72. Положение пилота на учебном планере.

своей вертикальной оси и тянет правый трос, идущий к маленькому рычажку на правой стороне руля поворотов; ясно, что руль поворотов повернется вправо настолько, насколько это нужно пилоту, т. е. в зависимости от того, как много он «даст правой ноги». Тотчас же, как только руль поворотов повернется вправо, планер начнет поворачивать вправо; когда он повернет настолько, насколько нужно пилоту, последний «уберет правую ногу», т. е. слегка толкнет вперед левую ногу, и тем поставит руль поворотов в нормальное, нейтральное, положение, в результате чего планер полетит снова прямолинейно.

Теперь пусть пилот хочет изменить угол планирования и спускаться более круто. Тогда он слегка наклоняет ручку вперед или, как говорят, «дает ручку от себя». Следствием этого является то, что руль высоты отклоняется слегка вниз, и планер начинает планировать более круто вниз; здесь следует обра-

тительное внимание на то, что тросы, идущие от ручки (фиг. 73) к рулю высоты, на пути перекрещиваются; поэтому, когда пилот «дает ручку от себя», натягивается трос, прикрепленный к нижнему рычажку руля высоты. Если в следующий момент пилот хочет снова планировать с прежним углом, он



Фиг. 73. Принципиальная схема управления планера

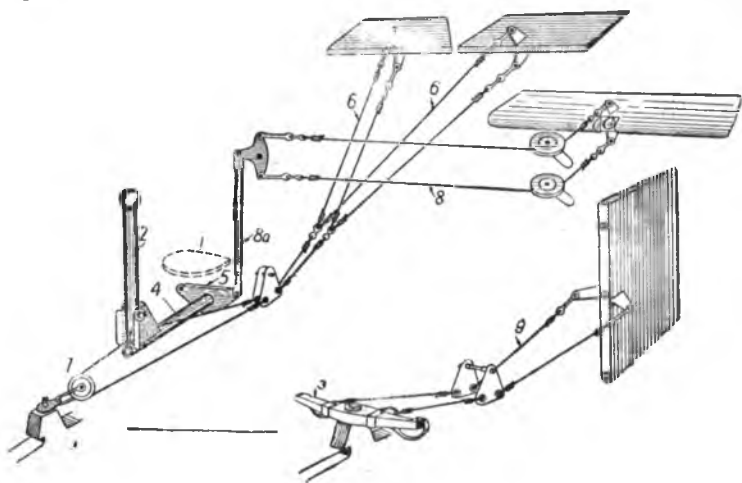
1 — сиденье пилота; 2 — ручка; 3 — ножное управление; 4 — продольная вращающаяся труба, с которой соединена ручка; 5 — горизонтальный рычаг, передающий боковые отклонения ручки на элероны; 6 — трос от ручки к рулю высоты; 8 — тросы, передающие движения ручки на элероны; 9 — тросы от ножного управления к рулю поворотов.

ставит ручку снова в прежнее положение, т. е. руль высоты в нормальное положение.

Если пилоту нужно, наоборот, слегка уменьшить угол планирования, т. е. спускаться более полого, то он слегка отклоняет ручку назад или, как говорят, «берет ручку на себя»; тогда руль высоты отклоняется вверх, и планер, слегка подняв нос, начинает планировать более полого.

Теперь предположим, что пилоту необходимо наклонить планер на правое крыло. Для этого он на-

клоняет ручку вправо или, как говорят, «дает ручку вправо». Это движение с помощью тросов передается через блоки на элероны, причем правый элерон при этом отклоняется вверх, а левый — вниз, и планер накрывается на правое крыло. Если надобность в крене миновала, пилот ставит ручку снова верти-



Фиг. 74. Конструктивная схема управления планера УС-4.

Обозначения 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 и 9 — те же, что и на фиг. 73. 7 — блок, через который перекинут трос от ручки к рулю высоты; 8а — жесткая тяга управления элеронами.

кально, элероны занимают нейтральное положение (т. е. не отклонены ни вверх, ни вниз), и планер выравнивается. Точно так же, если нужно наклонить планер на левое крыло, пилот «дает ручку влево»; тогда левый элерон отклоняется вверх, а правый — вниз, и планер наклоняется влево.

Читатель может спросить, почему же при описанном отклонении элеронов и рулей планер изменяет свое положение в воздухе, послушно выполняя волю пилота? Все это станет ясным из следующей главы, в которой будет рассказано, под действием каких сил оказывается планер, когда пилот изменяет поло-

жение элеронов и рулей, т. е. благодаря каким силам он может легко управлять своей машиной и сохранять ее устойчивость в воздухе.

Теперь же скажем вкратце, какими приборами оборудован современный планер.

## ПРИБОРЫ НА ПЛАНЕРЕ

На планере нет мотора, поэтому и приборов на нем значительно меньше, чем на самолете. Самыми необходимыми приборами являются альтиметр и указатель скорости.



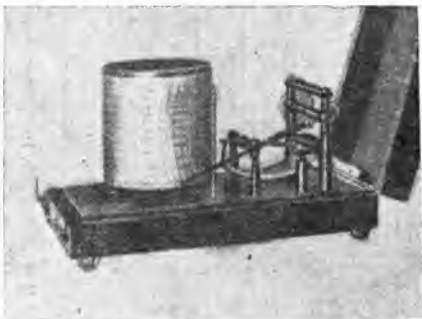
Фиг. 75. Альтиметр вы-  
томер).

Альтиметр (фиг. 75) показывает, на какой высоте находится в данный момент планер. Альтиметр есть по существу тот же металлический барометр, который, вероятно, известен читателю из курса физики и который можно найти почти в каждой школе (он «предсказывает» погоду). Барометр, как известно, по-

казывает величину атмосферного давления, а не высоту. Но дело в том, что чем выше над уровнем моря, тем, как мы знаем, воздух становится все более разреженным и атмосферное давление уменьшается. Поэтому, если на барометре рядом с цифрами, показывающими атмосферное давление, поставить соответствующие этому давлению высоты (в метрах), то такой барометр будет показывать не только величину атмосферного давления, но и высоту в метрах. На циферблате альтиметра атмосферное давление уже не обозначается (оно неважно летчику), а только высоты, причем цифры показывают тысячи метров, а деления между ними — сотни. Таким образом в каж-

дый момент полета пилот знает, на какой высоте он находится.

Несколько слов об устройстве альтиметра (барометра). В металлическом футляре находится круглая плоская металлическая тонкостенная камера, из которой выкачан почти весь воздух. К центру камеры присоединена пружина, которая растягивает камеру (раздвигает ее стенки), чтобы силой атмосферного давления ее не сплюснуло. Пружина, следовательно, уравнивает силу атмосферного давления. При подъеме на высоту атмосферное давление уменьшается, и стенки камеры под действием пружины начинают расходиться.



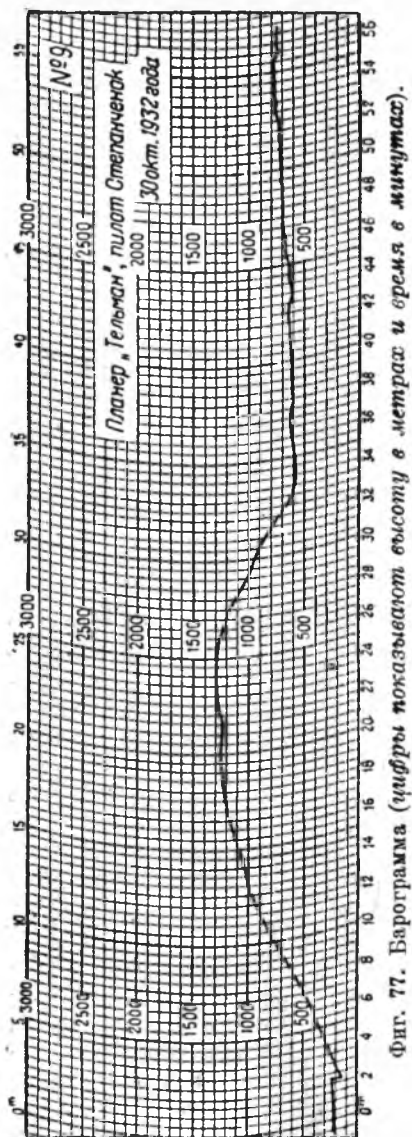
Фиг. 76. Барограф.

Чем выше, тем все меньше и меньше будет становиться атмосферное давление и тем, следовательно, больше будут расходиться стенки камеры. Это движение стенок камеры с помощью особого механизма и передается на стрелку,двигающуюся по циферблату.

Указатель скорости показывает скорость полета в километрах в час. Принцип устройства этого прибора следующий. На носу планера устанавливается двойная металлическая трубка, воспринимающая давление встречного потока воздуха. Эта трубка соединена помощью тонких трубопроводов с прибором, находящимся перед летчиком и имеющим металлическую коробку. В зависимости от скорости планера величина воспринимаемого трубкой давления будет изменяться, и соединенная с металлической коробкой стрелка покажет на циферблате соответствующую этому давлению скорость полета (в км/час).

Нужно иметь в виду, что указатель скорости пока-





Фиг. 77. Барограмма (цифры показывают высоту в метрах и время в минутах).

зывает скорость планера не относительно земли, а относительно воздуха, т. е. так называемую воздушную скорость (или техническую). Если, например, планер летит против сильного ветра и почти не движется относительно земли, то указатель скорости все равно будет показывать ту скорость, которую планер имел бы относительно земли, если бы был полный штиль.

При высотных полетах и полетах на дальность кроме описанных приборов применяются еще вариометр, компас и барограф. Вариометр показывает скорость подъема (или снижения) планера в  $\text{м/сек}$ . Назначение компаса известно. Барограф же является по существу тем же альтиметром, но только самозаписывающим высоту полета.

По своему устройству барограф (фиг. 76) отличается от

альтиметра тем, что вместо стрелки у него имеется перо, которое прикасается к бумажной ленте, накрученной на барабан, медленно вращающийся с помощью часового механизма. Таким образом, если перед полетом завести часовой механизм, вставить чистую ленту (она особым образом разграфлена, и высоты обозначены в тысячах и сотнях метров), а в перо пустить капельку чернила, то в полете перо будет колебаться вверх и вниз в зависимости от изменения высоты полета. Так как лента под пером непрерывно движется, то на ней эти колебания начертятся в виде кривой, которая будет показывать, на каких высотах летел планер и сколько всего времени продолжался полет. Такая лента с записью картины полета называется *барограммой полета* (фиг. 77).

## ГЛАВА V

# УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАНЕРА И ДЕЙСТВИЕ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ

## ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ

Сделаем несколько маленьких опытов.

Возьмем прямоугольный кусок картона, имеющий форму игральной карты, и прочертим на нем диагонали. Центр тяжести<sup>1</sup> прямоугольного куска картона будет лежать как раз в точке пересечения диагоналей. Проткнем эту точку булавкой и, слегка расширив отверстие, настолько, чтобы карта свободно вращалась на булавке, воткнем булавку в стену (перпендикулярно к стене). Если, вращая карту, мы будем ставить ее в различные положения, как показано на фиг. 78, то увидим, что карта каждый раз

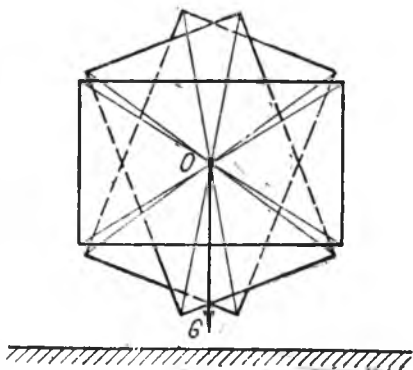
---

<sup>1</sup> Центром тяжести тела называется та воображаемая точка, в которой как бы сосредоточен весь вес тела.

будет сохранять эти положения, т. е. всегда будет в равновесии.

Почему же наша карта сохраняет равновесие и что это за равновесие?

В нашем опыте карта сохраняет равновесие в любом положении по той причине, что точка опоры карты (булавка) совпадает с центром тяжести карты.



Фиг. 78. Безразличное равновесие.

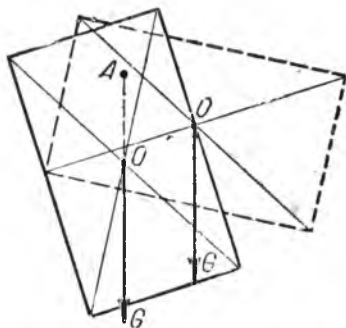
должна остаться в равновесии, безразлично какое бы положение ей ни дали. Поэтому такое равновесие и называется **б е з р а з л и ч н ы м**. Примером такого равновесия может служить хорошо уравновешенное колесо: в каком бы положении мы ни поставили колесо, оно останется неподвижным. Колесо будет в безразличном равновесии по той же причине, что и карта в нашем опыте: его центр тяжести совпадает с его точкой опоры (ось). На основании этого можно сделать следующий вывод:

*Тело находится в состоянии безразличного равновесия в том случае, когда центр тяжести совпадает с точкой опоры.*

Теперь возьмем ту же карту, но булавку воткнем не в точке пересечения диагоналей, а в какой-нибудь точке *А* (фиг. 79). Если в данном случае, вращая карту, мы будем ставить ее в различные положения

с точкой *О* (с точкой пересечения диагоналей). Благодаря этому сила тяжести *G*, которая всегда приложена в центре тяжести и всегда направлена вниз, будет уравниваться силой сопротивления точки опоры, так как эта сила равна силе тяжести, но направлена вертикально вверх. Отсюда понятно, что в нашем опыте карта

(одно из них показано пунктиром), то увидим, что под действием силы тяжести, которая теперь уже не уравнивается силой сопротивления точки опоры, карта каждый раз будет возвращаться в одно и то же положение (показанное сплошными линиями) и в этом положении будет оставаться в равновесии. Такое равновесие называется устойчивым.

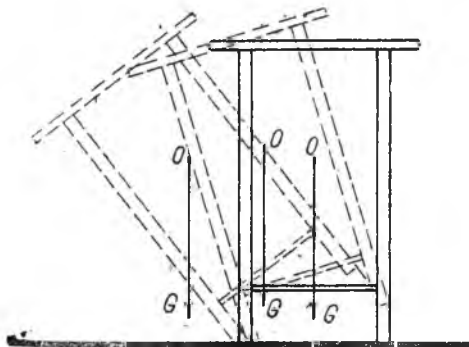


Тело находится в устойчивом равновесии в том случае, когда центр тяжести лежит ниже точки опоры и обе эти точки лежат на одной вертикали.



Фиг. 79. Устойчивое равновесие.

Если же центр тяжести лежит выше точки опоры, то тело может сохранять лишь неустойчивое равновесие, в чем мы сейчас и убедимся.



Фиг. 80. Неустойчивое равновесие.

Перед нами столик на четырех ножках (фиг. 80). Центр тяжести столика  $O$  находится значительно

выше его точки опоры, но, как мы знаем из жизни, он все же сохраняет равновесие. В самом деле, если мы наклоним столик до первого положения, показанного пунктиром, то столик под действием силы тяжести вернется в первоначальное положение; однако, если отклонить столик до второго положения, показанного пунктиром, то столик под действием той же силы тяжести упадет. Иначе говоря, столик будет сохранять равновесие только до тех пор, пока сила тяжести будет проходить между точками опоры. Отсюда нетрудно понять, что столик будет тем устойчивее, чем шире расставлены его ножки, т. е. чем дальше друг от друга точки опоры.

Если теперь на нижнюю перекладину нашего столика положить тяжелую книгу, то нижняя часть столика станет тяжелее и, следовательно, центр тяжести всего столика переместится ниже. В этом случае столик будет выдерживать больший наклон (крен), не падая набок. Итак, столик будет тем устойчивее, чем ниже находится его центр тяжести.

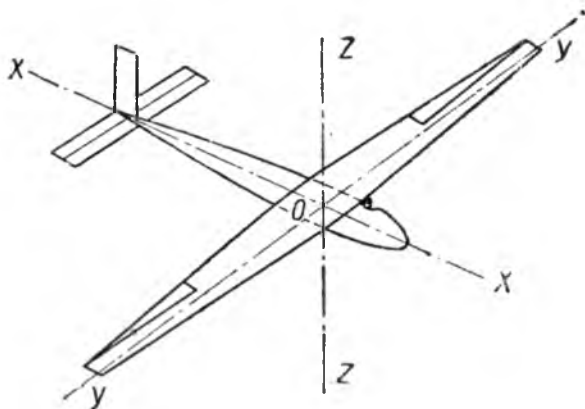
## **ЧТО ТАКОЕ УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАНЕРА**

Мы знаем теперь, что равновесие может быть устойчивым, безразличным и неустойчивым. Это общее понятие об устойчивости тела относится и к планеру в равномерном прямолинейном полете.

Предположим, что равновесие планера в прямолинейном полете нарушено какой-нибудь внешней силой (например, порывом ветра). Если по прекращении действия этой силы планер сам (без вмешательства пилота) восстанавливает нарушенное равновесие, т. е. возвращается к прежнему углу планирования, то, следовательно, планер у с т о й ч и в. Если по прекращении действия внешней силы планер не возвращается к прежнему углу планирования, но и не отклоняется от нового, в который он перешел под действием внешней силы, то можно сказать, что планер б е з р а з л и ч е н. Если же после прекращения действия внешней силы планер не только не возвра-

щается к прежнему углу планирования, но все больше и больше отклоняется от него, то, значит, планер неустойчив.

Итак, устойчивостью планера называется способность его сохранять равновесие в равномерном прямолинейном полете.



Фиг. 81. Устойчивость планера. Планер может поворачиваться (вращаться) вокруг трех взаимно перпендикулярных осей, проходящих через его центр тяжести.

Различают устойчивость естественную (или автоматическую) и искусственную. Естественной устойчивостью планера называется способность его самостоятельно, т. е. без вмешательства пилота, возвращаться в состояние равновесия, если под влиянием какой-либо силы (например порыва ветра) он будет выведен из него. Если же планер сохраняет устойчивость благодаря вмешательству пилота, то такая устойчивость называется искусственной устойчивостью.

Независимо от того, восстанавливает ли планер нарушенное равновесие самостоятельно или путем вмешательства пилота, он сохраняет свое положение в воздухе под действием некоторых сил. Если мы рассмотрим, как может изменяться положение планера

В воздухе и под действием каких сил, то нам станет понятно, как сохраняет планер равновесие в воздухе.

При изменении своего положения в воздухе планер поворачивается вокруг своего центра тяжести  $O$  или, точнее, вокруг трех взаимно перпендикулярных осей (конечно, воображаемых), проходящих через его центр тяжести, именно вокруг осей  $XX$ ,  $YY$  и  $ZZ$  (фиг. 81). Если планер поворачивается вокруг оси  $XX$ , то говорят о поперечной устойчивости. Если планер поворачивается вокруг оси  $YY$ , то говорят о продольной устойчивости. Если же планер поворачивается вокруг оси  $ZZ$ , то говорят об устойчивости пути планера.

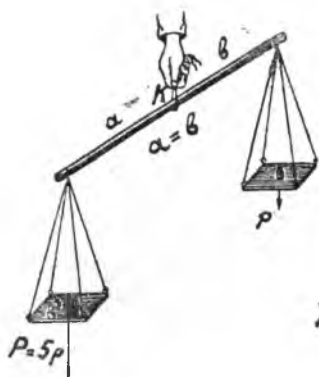
Чтобы понять устойчивость планера и действие органов управления, надо знать, под действием каких сил создается равновесие планера. Но чтобы, в свою очередь, понять действие этих сил, необходимо знать, при каких условиях силы уравнивают друг друга, т. е. надо знать некоторые правила механики. На простом опыте мы сейчас и познакомимся с тем, что нужно для понимания устойчивости планера.

Пусть мы соорудили простейшие весы, изображенные на фиг. 82. Если положить на одну чашку этих весов грузик  $p$ , а на другую — груз  $P$ , в пять раз больший, то, естественно, чашка с грузом  $P$  перетянет. Чтобы уравновесить наши весы при этих неравных грузах, нам придется шпильку  $K$ , на которой вращается коромысло весов, передвинуть ближе к той чашке, на которой лежит груз  $P$  (фиг. 83).

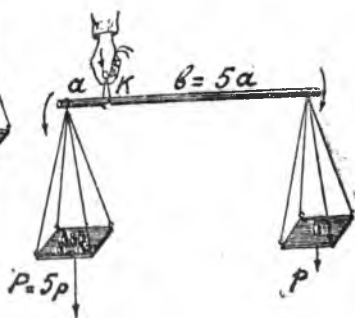
Уравновесив таким образом наши весы, измерим расстояния от точек прикрепления чашек к коромыслу до точки вращения  $O$ , т. е. плечи  $a$  и  $b$ . Мы убедимся тогда, что плечо  $b$  в пять раз больше плеча  $a$ .

Так как вес тела есть сила тяжести, то, следовательно, можно сказать, что на коромысло действуют две неравные силы, стремящиеся повернуть его в противоположные стороны (показано стрелками). Однако эти неравные силы мы все же уравнивали. При каком условии? При условии равенства их плеч. Но это еще не все. На основании нашего опыта

мы можем сказать, что, если две неравные силы стремятся повернуть (точнее, вращать) тело в противоположные стороны, то эти силы будут уравнивать друг друга (т. е. тело будет находиться в равновесии) в том случае, когда плечо, на которое действует меньшая сила, будет во столько раз больше плеча, на которое действует большая сила, во



Фиг. 82. Простейшие весы. При неравных грузах равновесие нарушено.



Фиг. 83. Понятие о моментах сил. При неравных грузах равновесие возможно только в том случае, если плечи обратно пропорциональны грузам.

сколько раз первая сила меньше второй. Иначе говоря, для равновесия необходимо, чтобы плечи были обратно пропорциональны силам, т. е. чтобы  $P:p = b:a$ . Так как в пропорции произведение крайних членов равно произведению средних, то, следовательно,  $P \cdot a = p \cdot b$ . Это и есть та формула, которая для нас очень важна.

Заметим, что расстояние от точки вращения до силы (т. е. плечо силы) следует измерять по перпендикуляру, опущенному из точки вращения на линию действия силы (фиг. 84). Произведение силы  $P$  на перпендикуляр  $l$  называется в механике **момен-**

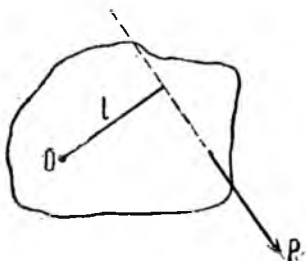


том силы  $P$  и обозначается буквой  $M$ . Таким образом

$$M = P \cdot l.$$

Следовательно, в нашем втором опыте с весами моментом силы  $P$  будет  $P \cdot a$ ; моментом силы  $p$  будет  $p \cdot b$ .

О чем же в таком случае говорит выведенная нами выше формула ( $P \cdot a = p \cdot b$ )?



Фиг. 84. Понятие о моменте силы.

Момент силы  $P$  равен произведению силы на плечо:

$$M = P \cdot l$$

Она говорит, что для равновесия наших весов неважно, чтобы силы были равны, а нужно чтобы моменты этих сил были равны.

Из нашего опыта следует, что маленькая сила, действуя на длинное плечо, может уравновесить большую силу, если последняя действует на короткое плечо. Очевидно, что маленькая сила может оказаться даже «сильнее» большой силы, если произведение

маленькой силы на ее плечо будет больше произведения большой силы на ее плечо, т. е. если момент маленькой силы будет больше момента большой силы. В этом нетрудно убедиться с помощью наших же весов, стоит лишь после того, как мы их уравновесили, немного передвинуть нитку  $K$  ближе к чашке с большим грузом; тотчас же грузик  $p$  перетянет груз  $P$ . Это произошло потому, что момент силы  $p$  (т. е.  $p \cdot b$ ) стал больше момента силы  $P$ , т. е. больше  $P \cdot a$ .

Итак, если две неравные силы стремятся вращать тело в противоположные стороны, то тело сохраняет равновесие только в том случае, когда моменты этих сил равны. Вот это и понадобится нам сейчас при рассмотрении устойчивости планера и действия его органов управления.

Но с какими же силами нам придется иметь дело? Откуда они возникают?

Конечно, те силы, с которыми нам придется иметь дело, возникают вследствие сопротивления воздуха. Ведь мы уже знаем, что планер взлетает и летит благодаря сопротивлению (давлению) воздуха, которое испытывают его крылья. Ясно, что и органы управления — элероны и рули испытывают также сопротивление (давление) воздуха, причем изменение их положения относительно встречного воздушного потока будет вызывать изменение и действующих на них сил давления воздуха. Вот этим-то и удастся пользоваться для того, чтобы сохранять устойчивость планера и управлять им.

## **ПОПЕРЕЧНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАНЕРА И ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕРОНОВ**

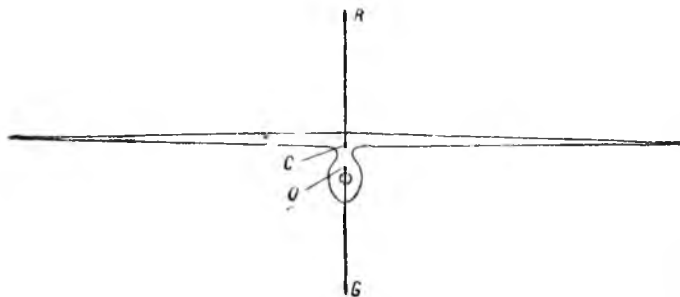
При восстановлении нарушенного поперечного равновесия планер поворачивается, как мы говорили, вокруг продольной оси  $XX$  (см. фиг. 81). Эта ось лежит в плоскости симметрии планера. Плоскостью симметрии в данном случае является воображаемая вертикальная плоскость, которой планер как бы разделяется на две совершенно одинаковые (симметричные) половины: правую и левую.

Очевидно, что для поперечной устойчивости планера прежде всего очень важно, чтобы была полная симметрия частей планера (особенно крыльев), а именно: размеров, весов и аэродинамических сил.

Это значит, что размеры правой и левой половин планера должны быть одинаковы, веса их должны быть равны и сопротивление воздуха, встречаемое каждой из них, должно быть одно и то же. В самом деле, если правое крыло будет, скажем, тяжелее левого, то сохранить равновесие будет трудно, ибо планер будет «валиться» на правое крыло. Или, скажем, угол атаки у правого крыла будет больше, чем у левого: ясно, что у правого крыла подъемная сила будет больше, и планер будет «валиться» на левое крыло. Итак, нужна полная симметрия. Она зависит от точности производства и тщательно проверяется:

размерная — вымериванием всех деталей планера, весовая — их взвешиванием, аэродинамическая — тщательной выверкой профиля правого и левого крыла на особых шаблонах.

После этих предварительных замечаний посмотрим, как сохраняется поперечная устойчивость планера и как действуют элероны.



Фиг. 85. Поперечная устойчивость планера.

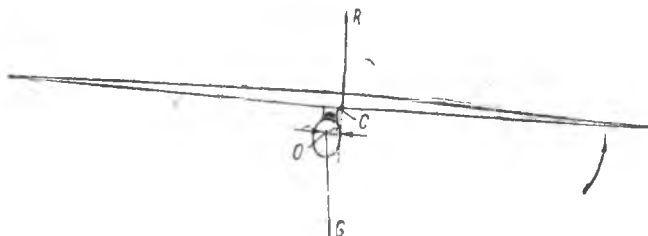
В прямолинейном полете планер находится в поперечном равновесии, если сила давления воздуха  $R$  и сила тяжести  $G$  лежат в плоскости симметрии планера.

Пусть планер планирует прямолинейно (фиг. 85). Если полная симметрия соблюдена, то центр тяжести планера  $O$  и центр давления крыльев  $C$  лежат в плоскости симметрии. Пусть теперь какая-нибудь посторонняя сила (например, порыв ветра) выведет планер из положения равновесия и накренит его, скажем, на левое крыло (фиг. 86). Восстановит ли планер сам без вмешательства пилота нарушенное равновесие?

Опыт показывает, что если крен мал, то равновесие восстановится автоматически. Дело в том, что при крене планер начинает скользить на опустившееся крыло. Вследствие этого центр давления крыльев чуть-чуть переместится из плоскости симметрии в сторону крена (фиг. 86). Мы видим, что теперь сила сопротивления (давления) воздуха  $R$  уже не проходит здесь через центр тяжести, а удалена от него на некоторое расстояние  $a$  (считая по перпендикуляру к направлению силы  $R$ ). Таким образом, у силы  $R$  воз-

ник момент, равный  $R \cdot a$ . Нетрудно понять, что под действием этого момента планер повернется вокруг продольной оси в направлении, указанном стрелкой, т. е. равновесие будет восстановлено.

Если под влиянием посторонней силы создается более значительный крен, то автоматически равновесие уже не восстанавливается. Дело в том, что при значительном крене картина распределения давления воздуха на крылья будет уже иная, и планер не



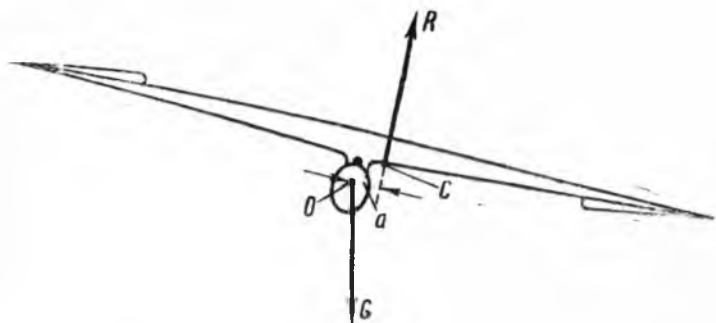
Фиг. 86. Естественная поперечная устойчивость планера. При незначительном крене центр давления  $C$  немного перемещается в сторону крена; при этом возникает вращающий момент, равный  $R \cdot a$ , который и возвращает планер в положение равновесия.

только не восстановит сам равновесия, но будет даже стремиться еще более увеличить крен. Очевидно, что здесь необходимо вмешательство пилота. Что же он делает для восстановления равновесия?

Пусть под влиянием сильного порыва ветра возник значительный крен на левое крыло (фиг. 87). Чтобы выправить крен, пилот тотчас же дает ручку в сторону, противоположную крену, т. е. вправо, вследствие чего элерон левого крыла отклонится вниз, а правого — вверх. Опущенный элерон левого крыла встретит тогда большее сопротивление воздуха, чем раньше, а поднятый элерон правого крыла — меньшее, чем раньше; иными словами, у левого элерона создастся добавочная подъемная сила, а подъемная сила правого элерона уменьшится на такую же примерно величину. Так как элероны соединены с крыльями, то ясно, что в результате этого подъемная сила левого

крыла станет больше, чем правого. Благодаря этому центр давления  $C$  переместится в сторону левого крыла, т. е. создастся момент, равный  $R \cdot a$ , который и повернет планер вокруг продольной оси в направлении, показанном стрелкой; иными словами, поперечное равновесие будет восстановлено.

Как только планер вернется в нормальное положение, пилот тотчас же «убирает» ручку, т. е. ставит



Фиг. 87. Искусственная поперечная устойчивость планера. Чтобы уничтожить крен, пилот отклоняет элерон опустившегося крыла вниз, а другого, следовательно, — вверх.

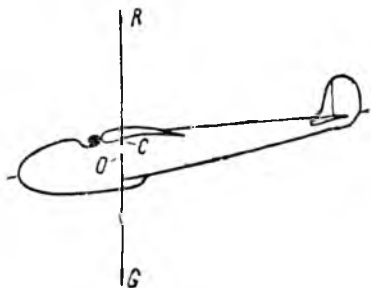
элероны тоже в нормальное положение, ибо иначе планер будет продолжать вращение и накренится на правое крыло.

Из всего сказанного ясно, что при помощи элеронов пилот может не только восстанавливать нарушенное поперечное равновесие, но и сам нарушать его, если понадобится. В самом деле, пусть пилоту нужно накренить планер, скажем, на правое крыло (что необходимо при правом вираже); для этого пилот «дает ручку вправо», отклоняя тем элерон левого крыла вниз, а правого — вверх; вследствие этого на элеронах появятся силы, моменты которых относительно центра тяжести заставят левое крыло подняться, а правое опуститься, т. е. планер накренится вправо. Ясно, что для левого крена пилот «дает ручку влево».

## ПРОДОЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛАНЕРА И ДЕЙСТВИЕ СТАБИЛИЗАТОРА И РУЛЯ ВЫСОТЫ

При восстановлении нарушенного продольного равновесия планер поворачивается (вращается) вокруг поперечной оси  $YY$  (см. фиг. 81), проходящей через центр тяжести планера. Это следует все время помнить при ознакомлении с продольной устойчивостью планера.

Для того чтобы планер обладал хорошей продольной устойчивостью, важно, чтобы центр тяжести  $O$  и центр давления воздуха на крылья  $C$  (точка приложения силы давления воздуха  $R$ ) лежали на одной вертикали (фиг. 88). В этом мы сейчас убедимся.



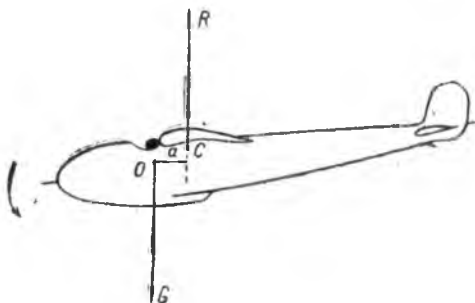
Фиг. 88. Продольная устойчивость планера. В прямолинейном полете планер находится в продольном равновесии, если центр давления и центр тяжести лежат на одной вертикали.

Пусть обе указанные точки не лежат на одной вертикали, причем центр тяжести  $O$  находится несколько впереди центра давления  $C$  (фиг. 89). Легко видеть, что в этом случае создается момент, равный  $R \cdot a$ , который будет стремиться вращать планер вокруг поперечной оси в направлении, показанном стрелкой. Иными словами, в этом случае планер будет стремиться падать на нос.

Пусть теперь обе указанные точки также не лежат на одной вертикали, но центр тяжести  $O$  находится несколько позади центра давления  $C$  (фиг. 90). Легко видеть, что в этом случае создается момент, равный  $R \cdot a$ , который будет стремиться вращать планер вокруг поперечной оси в направлении, показанном стрелкой. Иными словами, планер будет стремиться задрать нос.

Если же центр тяжести и центр давления лежат на одной вертикали (фиг. 88), то в этом случае никакого вращающего момента не будет и планер будет обладать продольной устойчивостью.

Совмещение центра тяжести планера и центра давления крыльев на одной вертикали называется балансировкой планера. При аэродинамическом



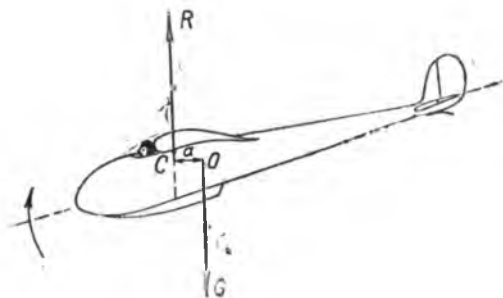
Фиг. 89. Продольная устойчивость планера. Если центр давления лежит позади центра тяжести, то создается вращающий момент, под действием которого планер стремится опустить нос.

расчете планера для этого приходится точно определять местонахождение центра тяжести и центра давления. Окончательную же балансировку нередко делают при пробных маленьких полетах.

Если оказывается, что планер тянет на нос или задирает нос, то слегка изменяют местоположение центра тяжести планера, перемещая пилота немного назад или вперед. Если же конструкция планера не позволяет передвинуть сиденье пилота, то слегка изменяют местонахождение центра давления путем незначительного изменения угла атаки крыльев или, в крайнем случае, путем небольшой передвигки крыльев (вперед или назад). Этими мерами и удастся добиться совмещения центра тяжести планера и центра давления на одной вертикали.

Но если планер и хорошо сбалансирован, это все же иногда оказывается недостаточным, ибо баланси-

товка делается для нормального угла планирования, пилоту же приходится летать на разных углах. Дело в том, что при разных углах планирования центр давления не остается неподвижным, а слегка перемещается по хорде крыла, причем у некоторых профилей крыльев это перемещение ничтожно, у других — значительно. В таких случаях совмещение центра тя-



Фиг. 90. Продольная устойчивость планера. Если центр давления лежит впереди центра тяжести, то создается вращающий момент, под действием которого планер стремится поднять нос.

жести и центра давления на одной вертикали нарушается в полете, что и ведет, как мы теперь знаем, к появлению вращающих моментов, которые нарушают продольное равновесие планера.

Чтобы добиться большей продольной автоматической (естественной) устойчивости, применяют иногда стабилизатор. Напомним, что стабилизатор представляет собой небольшое крыло, установленное неподвижно перед рулем высоты, причем профиль стабилизатора у планеров обычно симметричный.

Устанавливается стабилизатор чаще всего под нулевым углом атаки, т. е. так, что при нормальном угле планирования на стабилизаторе не возникает подъемной силы. Посмотрим, как достигается естественная продольная устойчивость благодаря стабилизатору.



Пусть хорошо сбалансированный планер летит с нормальным углом планирования (фиг. 91, I). Так как центр тяжести и центр давления совмещены на одной вертикали, то, как мы знаем, планер в этом случае будет находиться в состоянии продольного равновесия.

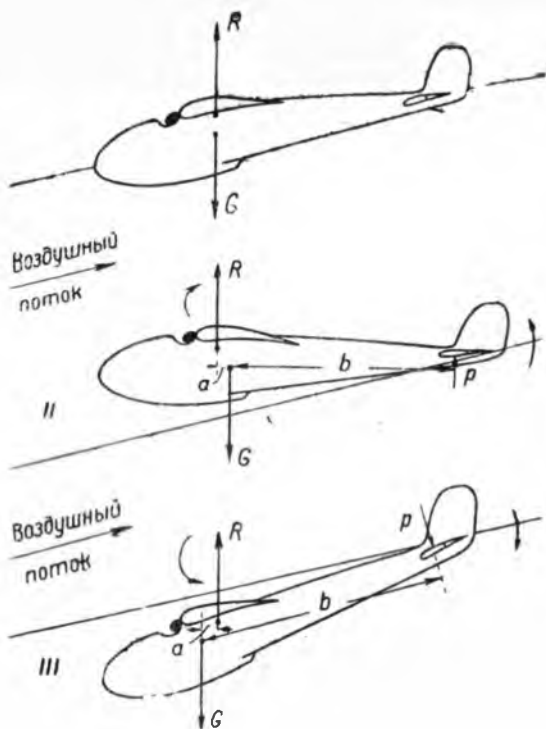
Пусть теперь порыв ветра нарушит полет планера, и он задерет нос (фиг. 91, II). В тот же момент крылья планера встретят воздушный поток под большим углом атаки; вследствие этого, как показывает опыт, центр давления слегка переместится по хорде крыла вперед. Нетрудно видеть, что тогда создастся положение, изображенное на фигуре, т. е. возникнет момент, равный  $R \cdot a$ , под действием которого планер будет стремиться еще больше задраить нос.

Вот тут-то и поможет стабилизатор. Вследствие изменения положения продольной оси планера относительно встречного воздушного потока стабилизатор окажется по отношению к последнему под некоторым положительным углом атаки, благодаря этому на стабилизаторе появится подъемная сила, действующая снизу вверх. Эта сила, действуя на плече  $b$  от центра тяжести, создаст момент  $p \cdot b$ , который будет тоже стремиться вращать планер вокруг поперечной оси, но в обратном направлении (показано стрелкой), вследствие чего планер и вернется в исходное положение.

Итак, для того чтобы при порыве ветра планер не задраил нос, необходимо, чтобы момент  $p \cdot b$  уравновешивал момент  $R \cdot a$ .

Это и достигается соответствующим расчетом стабилизатора.

Теперь предположим, что порыв ветра так нарушит продольное равновесие планера, что последний «клюнет» носом (фиг. 91, III). В тот же момент крылья встретят воздушный поток под меньшим углом атаки, вследствие чего центр давления, как установлено, немного переместится назад по хорде крыла. Нетрудно видеть, что здесь создастся случай, разобранный раньше на фиг. 89, т. е. возникнет момент, равный



Фиг. 91. Естественная продольная устойчивость планера:

*I — планер находится в продольном равновесии; II — выведенный из равновесия порывом ветра планер возвращается в исходное положение благодаря действию воздушного потока на стабилизатор и появлению на нем подъемной силы, направленной снизу вверх; III — выведенный из равновесия порывом ветра планер возвращается в исходное положение благодаря действию потока на стабилизатор и появлению на нем подъемной силы, направленной сверху вниз.*

$R \cdot a$ , под действием которого планер будет стремиться еще более опустить нос.

Здесь опять поможет стабилизатор. Вследствие отклонения продольной оси планера вниз от линии полета стабилизатор окажется под отрицательным углом атаки относительно встречного воздушного потока и на нем, как и в предыдущем случае, появится подъемная сила  $p$ .

На этот раз она будет направлена сверху вниз. Нетрудно видеть, что таким образом создастся момент  $p \cdot b$ , который будет стремиться вращать планер в направлении стрелки т. е. в направлении, противоположном моменту  $R \cdot a$ .

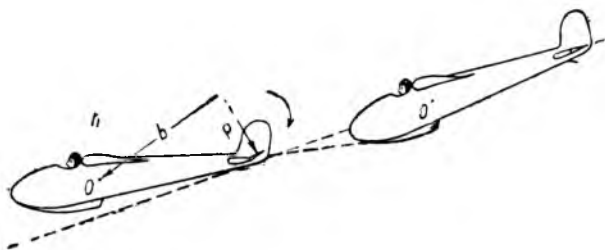
Итак, для того чтобы при порывах ветра планер не «клевал» носом, необходимо, чтобы момент  $p \cdot b$  уравновешивал момент  $R \cdot a$ .

Тот же самый эффект, который достигается с помощью стабилизатора, удается часто получить и без него, но при условии очень тщательного подбора профиля крыльев, удачного их расположения, правильного выбора размеров фюзеляжа и пр. Во всяком случае у планеров, в противоположность самолетам, стабилизатор не обязателен. Это объясняется тем, что центр тяжести планера в полете не перемещается, перемещается только центр давления, да и то мало, так как отклонения от нормального угла планирования ничтожны. У самолета же перемещается в полете и центр давления (больше, чем у планера) и центр тяжести, местоположение которого меняется в зависимости от нагрузки.

Если продольное равновесие планера какой-либо посторонней силой (порывом ветра) нарушено очень сильно, то естественной устойчивости оказывается уже недостаточно, и требуется вмешательство пилота, который и восстанавливает нарушенное равновесие с помощью руля высоты.

Действие руля высоты такое же, как и стабилизатора, но более мощно. Как пользуется пилот рулем высоты для восстановления продольного равновесия, нам станет понятно, если мы рассмотрим, как он пользуется им для изменения угла планирования.

Пусть планер летит с нормальным углом (фиг. 92, I); если планер хорошо сбалансирован, то при нормальном угле планирования пилот держит руль высоты нейтрально, т. е. руль не отклонен ни вверх, ни вниз и лежит в плоскости полета планера. Пусть теперь пилот хочет уменьшить угол планирования, т. е. лететь более полого. Тогда он слегка берет ручку на



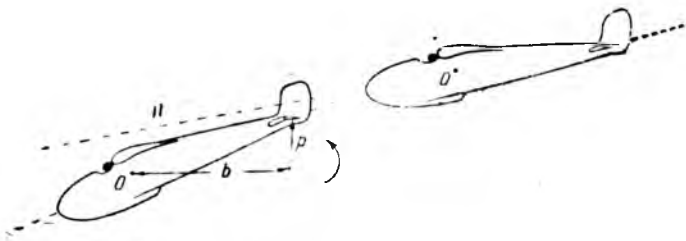
Фиг. 92. Искусственная продольная устойчивость и управление планером в вертикальной плоскости:

*I — при нормальном угле планирования руль высоты стоит нейтрально; II — при отклонении руля высоты вверх угол планирования уменьшается.*

себя, отклоняя тем руль высоты чуть-чуть вверх. Тотчас же на верхнюю поверхность руля высоты начинает давить встречный поток воздуха, т. е. появляется сила  $p$ , направленная сверху вниз (фиг. 92, II). Нетрудно видеть, что тотчас же появится момент, равный  $p \cdot b$ , который и повернет планер вокруг поперечной оси в направлении стрелки, т. е. угол планирования станет меньше.

Пусть теперь пилоту необходимо увеличить угол планирования, т. е. планировать более круто к земле. Тогда он слегка дает ручку от себя, отклоняя тем руль высоты чуть-чуть вниз (фиг. 93, II). Тотчас же на нижнюю поверхность руля высоты начнет давить встречный поток воздуха, т. е. появится сила  $p$ , направленная снизу вверх. Легко видеть, что в этом случае создается момент, равный  $p \cdot b$ , который и заставит планер повернуться вокруг поперечной оси и угол планирования станет больше.

Теперь ясно, что и для восстановления нарушенного продольного равновесия пилоту достаточно слегка взять ручку на себя, если планер «клюнул» носом, и дать ручку от себя, если планер стремится задрать нос. Таким образом с помощью руля высоты пилот одинаково легко сохраняет продольное равновесие планера и управляет им в вертикальной плоскости.



Фиг. 93. Искусственная продольная устойчивость и управление планером в вертикальной плоскости:

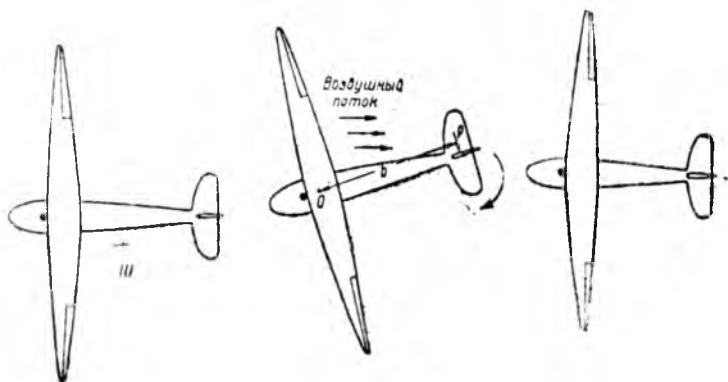
*I — нормальное планирование; II — при отклонении руля высоты вниз угол планирования увеличивается.*

## УСТОЙЧИВОСТЬ ПУТИ ПЛАНЕРА И ДЕЙСТВИЕ КИЛЯ И РУЛЯ ПОВОРОТОВ

Устойчивостью пути планера, как указывалось, называется способность его сохранять определенное направление полета. Напомним также, что при изменении направления полета планер поворачивается (вращается) вокруг оси  $ZZ$  (см. фиг. 81). Для сохранения определенного направления полета служат, как мы знаем, киль и руль поворотов. Посмотрим сначала, как действует киль для того, чтобы планер сам сохранял взятое пилотом направление полета.

Пусть планер летит прямолинейно (фиг. 94, I) и пусть под влиянием посторонней силы (скажем, порыва ветра) нос планера повернуло влево (фиг. 94, II). Тогда по инерции планер будет некоторое время двигаться в прежнем направлении, но боком; вследствие этого правая поверхность киля (и руля поворотов тоже) начнет испытывать давление встречного воздуш-

ного потока, т. е. появится некоторая сила  $p$ , направленная справа налево. Легко видеть, что в результате создастся момент силы, равный  $p \cdot b$ , который и повернет планер вокруг вертикальной оси вправо. Таким образом планер вернется в исходное положение и будет продолжать полет в прежнем направлении (фиг. 94, III).



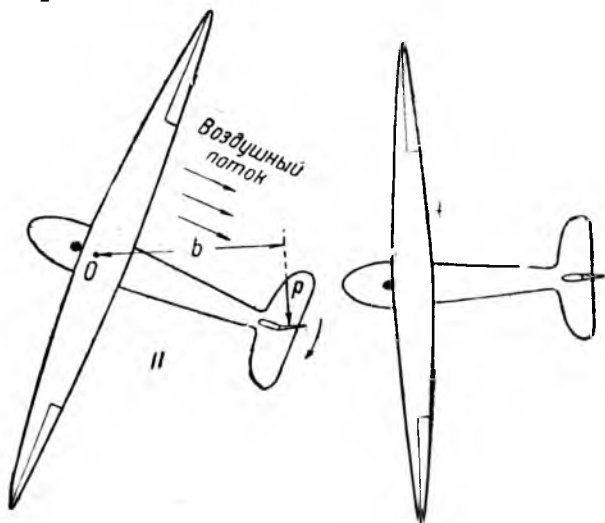
Фиг. 94. Естественная устойчивость пути планера:

*I — планер летит прямолинейно; II — если порывом ветра планер завернуло влево, то на правую поверхность кила и руля поворотов начинает дуть встречный воздушный поток, благодаря чему планер возвращается в исходное положение; III — планер продолжает полет в прежнем направлении.*

Однако очень часто действия кила и руля поворотов, если последний поставлен только нейтрально, оказывается недостаточным для сохранения определенного направления полета. В таких случаях пилот пользуется рулем поворотов, отклоняя его на тот или иной угол от нейтрального положения. Действие его в этих случаях нам станет понятно, если мы взглянем, как пользуется пилот рулем поворотов для изменения направления полета.

Пусть планер летит прямолинейно (фиг. 95, I). Пилот хочет изменить направление полета и повернуть вправо. Для этого он «дает правую ногу», отклоняя тем руль поворотов вправо (фиг. 95, II), вследствие

чего на правую сторону руля поворотов тотчас же начнет давить встречный поток воздуха, т. е. возникнет сила  $p$ , направленная справа налево. Легко видеть, что тем самым создастся момент, равный  $p \cdot b$ , который будет стремиться вращать планер вокруг вертикальной оси в направлении стрелки; иными словами, планер изменит направление полета и полетит вправо.



Фиг. 95. Искусственная устойчивость пути планера и управление им в горизонтальной плоскости:

*1 — при нейтральном положении руля поворотов планер летит прямолинейно; II — при отклонении руля поворотов вправо планер поворачивает вправо.*

Ясно, что как только планер повернет до нужного направления, пилот должен убрать ногу, т. е. поставить руль поворотов снова нейтрально; если же он этого не сделает, то планер будет продолжать заворачивать вправо, т. е. полетит не прямолинейно, а по кривой.

С помощью руля поворотов пилот одинаково легко может не только изменять направление полета, но и

сохранять его (направление), если какая-либо посторонняя сила (порыв ветра) стремится изменить его. В самом деле, пусть под действием порыва ветра планер станет заворачивать вправо. Ясно, что достаточно пилоту отклонить руль поворотов влево (говорят «дать обратную ногу»), чтобы остановить тотчас же поворот планера вправо, т. е. удерживать его в прежнем направлении полета.

Таким образом с помощью руля поворотов пилот достигает устойчивости пути планера и легко управляет им в горизонтальной плоскости.

## ГЛАВА VI

# ПОЛЕТ НА ПЛАНЕРЕ

## ЗАПУСК И ВЗЛЕТ ПЛАНЕРА

В главе второй мы разобрали почему взлетает планер. Теперь же, зная его устройство, а также и то, под действием каких сил он летит и сохраняет устойчивость в воздухе, рассмотрим, как производится запуск планера и полет на нем, начиная от момента взлета и до посадки. Иными словами, сейчас мы познакомимся с техникой полета на планере, причем в этой главе будет рассмотрена пока только техника наиболее простого полета на планере — полета без набора высоты. Такой полет, обычно производимый с горы в долину, называется часто **скользящим полетом** в отличие от **паря-**



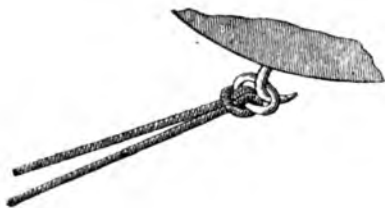
Фиг. 96. Амортизатор, применяемый для запуска планера.



щего полета, о котором будет рассказано в следующих главах.

Для запуска планера в настоящее время применяют так называемый амортизатор, который представляет собой оплетенный резиновый шнур толщиной около 2 см и длиной около 40—50 м (фиг. 96). Два «уса» амортизатора заканчиваются железным кольцом, к которому амортизатор привязывается так, как показано на фиг. 97. Это кольцо зацепляют за крючок, имеющийся на носу каждого планера и называемый стартовым крючком (фиг. 98), причем лапка крючка отогнута вниз, с тем чтобы в нужный момент кольцо могло легко соскочить с крючка.

Фиг. 97. Амортизатор с привязанным к нему кольцом для зацепления за стартовый крючок на носу планера.



Фиг. 98. Зацепление амортизатора за стартовый крючок на носу планера.

Для запуска планер ставят на вершине холма (горы) строго против ветра (фиг. 99). Скользящий полет планера возможен и в полный штиль. У хвоста планера ложатся (или садятся, если это удобнее) три — четыре человека, чтобы держать планер. Еще два человека встают около концов крыльев, чтобы придерживать их (так, как на фиг. 100, где изображен старт планера при помощи самопуска). За концы усов амортизатора, уже растянутого по направлению взлета, берутся человек шесть-восемь, по три-четыре за каждый ус, слегка натягивая амортизатор, чтобы на месте кольцо не соскакивало с крючка. Запуск производится по команде выпускающего.

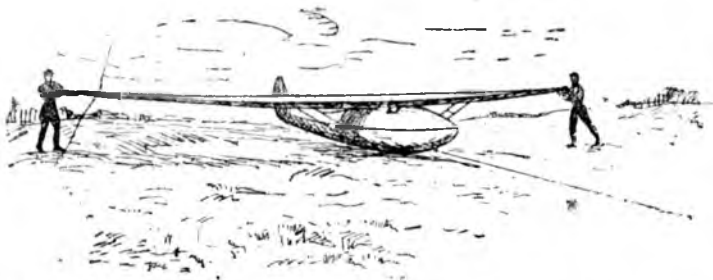
Пока идет подготовка к запуску, готовится и пилот. Усевшись на свое сидение, он застегивает

пряжку пилотского ремня, закрывает крышку обтекателя, проверяет отвечают ли элероны и рули на движения ручки и ножного управления.



Фиг. 99. Установка планера строго против ветра перед взлетом.

Для взлета он ставит элероны и рули нейтрально, т. е. ручки — вертикально, а ноги — ровно.



Фиг. 100. Запуск планера с помощью самопуска. Положение планера на старте перед взлетом.

После того как пилот скажет, что готов к полету, выпускающий подает первую команду, давая знать, чтобы все приготовились к запуску. Так как люди,

державшие концы амортизатора, находятся в отдалении и против ветра, то команда подается громким голосом.

— На амортизаторе! — кричит выпускающий.

— Есть! — отвечают люди на амортизаторе.

— Натягивай! — так же громко кричит выпускающий.

Тогда люди на амортизаторе начинают идти вперед (фиг. 101), расходясь углом и все больше натягивая



Фиг. 101. Запуск планера. Команда натягивает амортизатор.

амортизатор. После первого десятка шагов они кричат: — Раз!.. После второго: — Два!.. и т. д. Для запуска нужно в среднем 40—50 шагов натяжки в зависимости от того, насколько тяжел планер, есть ли ветер и насколько он силен и пр. Когда выпускающий видит, что натяжка уже достаточна, он командует:

— Старт!

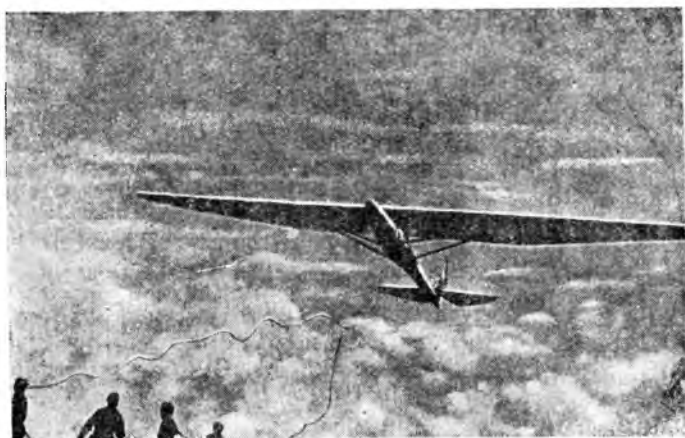
В тот же миг люди, удерживающие планер за хвост, отпускают его (фиг. 102), и планер под действием сильно натянутого амортизатора вырывается вперед, быстро набирая скорость; люди у крыльев пробегают несколько шагов, поддерживая крылья, пока скорость не станет достаточной и поперечное равновесие не сможет сохранять сам пилот с помощью элеронов. Несколько метров планер скользя на своей лыже, а затем отделяется от земли, и скорость его все увеличивается под действием натянутого амортизатора (фиг. 103). Но вот планер дого-



Фиг. 102. Запуск двухместного планера Ш-5 с южного склона на горе Клементьева (запускная команда за склоном).



Фиг. 103. Запуск планера. Планер взлетел. Амортизатор еще пятают.

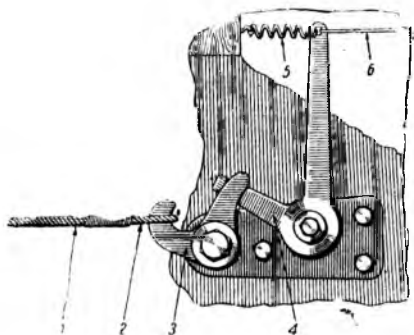


Фиг. 104. Запуск планера. Кольцо амортизатора соскочило с крючка.

нлет запускную команду, амортизатор ослабевает, и кольцо под действием силы тяжести слетает с крючка. Полет, таким образом, начат (фиг. 104).

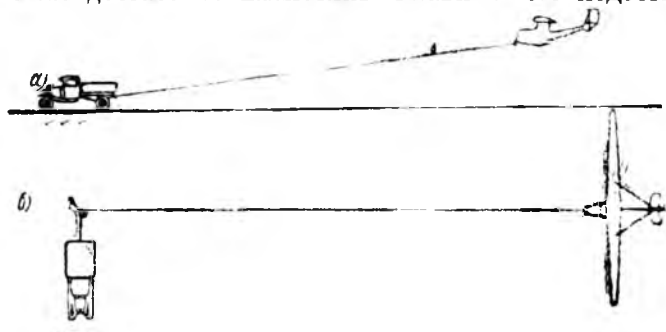
Мы описали способ запуска планера, применявшийся в течение ряда лет. В последние годы он несколько усовершенствован. В настоящее время запуск планера производится способом, при котором отпадает необходимость удержания планера людской силой (что имеет много неудобств). Способ этот заключается в том, что хвост планера зацепляется тросом за ввинченный в землю железный штопор (длина штопора около полуметра). Для отцепления планера от штопора у хвоста нужен только один человек.

Часто отцепление планера от штопора производит и сам пилот при помощи приспособления, называемого **самопуском**. Простейшая схема такого самопуска дана на фиг. 105. К штопору привязывается трос 1 длиной в метр, на конце которого сделана петля 2. Эта петля зацепляется за карабин 3, укрепленный на хвосте планера. Карабин запирается рычагом 4, который притягивает пружина 5; от этого же конца рычага идет тросик 6 в кабину пилота. Благодаря описанному устройству зацепления планер во время натяжки амортизатора удерживается на месте. В нужный же момент, т. е. когда натяжка амортизатора достаточна для взлета, и выпускающий подает команду «старт!» пилот дергает за тросик 6 и тем оттягивает рычаг 4, т. е. отпирает карабин 3, благодаря чему петля соскакивает с него, и планер освобождается от зацепления.



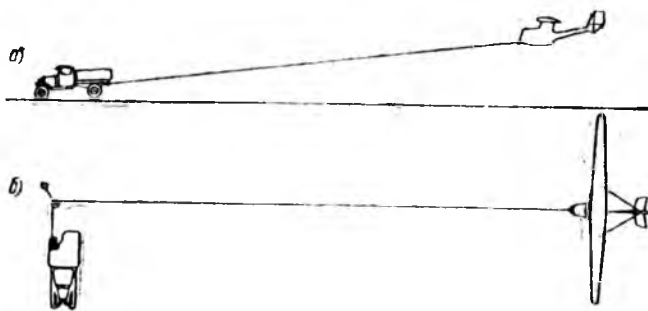
фиг. 105. Простейший «самопуск», с помощью которого пилот сам производит отцепление планера от ввинченного в землю штопора.

Нужно сказать, что способ запуска планера при помощи амортизатора, растягиваемого людской силой, даже и при применении штопора и самопуска, все же достаточно хлопотлив. Главным его недостат-



Фиг. 106. Схема запуска планера движущейся автомашиной.

ком является то, что он требует много людей, что особенно неудобно при напряженной летной работе, например в планерных школах, на слетах и т. д. По-



Фиг. 107. Схема запуска планера автомашиной, стоящей на месте.

этому было немало попыток механизировать запуск планера. Примером такого механизированного запуска является способ буксировки планера при помощи автомобиля. Этот способ может быть осуществлен как при помощи движущегося автомобиля (фиг. 106), так

и неподвижного (фиг. 107); в последнем случае автомобиль играет роль автолебедки.

До сих пор этот способ, как и многие другие виды механизированного запуска планера (например, различные виды катапульт), широкого применения еще не получили.

## **ПОЛЕТ ПО ПРЯМОЙ И С РАЗВОРОТАМИ**

Взлет на планере производится, как было сказано, с вершины холма или горы. Но иногда, например, при первоначальных учебных, а также при балансировочных полетах взлет производится и на ровном месте. В этих случаях высота полета не превышает обычно двух-трех метров над землей. Правда, при сильной натяжке амортизатора можно и на ровном месте забрать метров шесть-восемь, для чего пилот в момент отделения от земли берет слегка ручку на себя, и планер взмывает за счет энергии сильно натянутого амортизатора. Однако такой способ взлета не рекомендуется, так как при малейшей ошибке пилота планер может потерять скорость и упасть, т. е. возможна авария и даже катастрофа.

При взлете с ровного места полет планера, конечно, очень кратковременен, так как с высоты двух-трех метров он может спланировать лишь на три-четыре десятка метров. При балансировочных полетах этого вполне достаточно, ибо пилот, едва планер отделился от земли, сразу чувствует, хорошо ли планер сбалансирован.

При взлете с вершины холма или горы пилот обычно совсем не берет ручку на себя. Первые мгновения после отрыва планер летит почти над самой землей, но зато с избытком скорости, что очень важно, так как обеспечивает хорошую управляемость. В следующие мгновения, вследствие превышения точки взлета над долиной, планер оказывается уже высоко над землей (фиг. 108) и ясно, что чем выше гора, тем и на большей высоте над землей окажется планер (для наблюдателя, находящегося в долине).



Если же смотреть с вершины горы, откуда взлетел планер, то почти тотчас же после взлета он будет уже ниже вершины и с каждой секундой он будет все ниже и ниже спускаться в долину, так как он летит по наклонной линии.

После взлета пилот тотчас же дает немного ручку от себя и устанавливает определенный угол планирования. Этот угол должен быть не слишком велик, чтобы не терять напрасно высоту и дальше спланировать, но и не слишком мал, чтобы не потерять скорость. Чем же руководствуется пилот при установлении угла планирования?

Чем больше угол планирования, тем больше скорость полета. Следовательно, по величине скорости полета пилот может судить и о взятом им угле планирования. Но как же определить скорость полета?

Чем больше скорость полета, тем сильнее встречный ветер, по силе задувания которого в лицо пилот и может приблизительно определить скорость полета. Это во-первых.

Во-вторых, чем больше скорость полета, тем сильнее давление воздуха на элероны и рули, вследствие чего при недостаточной скорости управление становится слишком вялым, а при избытке скорости — слишком тугим. Таким образом в зависимости от того, насколько планер послушен и легок в управлении, пилот может судить и о его скорости, иными словами, о величине взятого угла планирования.

В-третьих, для определения угла планирования пилот пользуется и так называемыми зрительными ориентирами. Такими ориентирами являются: положение обтекателя относительно линии горизонта (т. е. степень наклона продольной оси планера к горизонту) и положение профиля крыла относительно горизонта (при нормальном угле планирования хорда профиля должна быть горизонтальной).

Вышеуказанные способы определения угла планирования являются субъективными и, следовательно, могут быть до некоторой степени не всегда точными. Однако совокупность их дает возможность пилоту после достаточной тренировки легко брать нужный

угол планирования. Для проверки же себя пилот пользуется указателем скорости, так как скорость, как сказано выше, зависит от угла планирования.

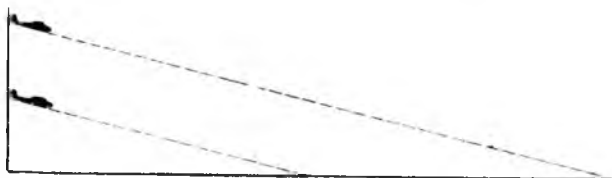


Фиг. 108. Скользящий полет планера с горы в долину.

На какое расстояние может слететь планер с горы, скажем, высотой в 100 м и от чего зависит дальность планирования?

Расстояние, на которое при отсутствии ветра может спланировать современный планер, в среднем раз в

двадцать больше той высоты, с которой он планирует; при полете против ветра расстояние уменьшается, по ветру—увеличивается. Таким образом с высоты 100 м планер может пролететь (без ветра) около 2 000 м по прямой линии, а лучшие из рекордных планеров—даже до 3 000 м. С высоты 200 м эти расстояния удваиваются и т. д. Итак, дальность планирования одного и того же планера (при оди-



Фиг. 109. Дальность планирования тем больше, чем больше высота, с которой планер планирует.

наковых метеорологических условиях) зависит прежде всего от высоты, с которой он планирует (фиг. 109).

Но один и тот же планер с одной и той же высоты и при одинаковых метеорологических условиях может спланировать на разные расстояния в зависимости от угла планирования, который установит пилот. На фиг. 110 показана дальность планирования одного и того же планера с различными углами планирования. Мы видим, что дальность планирования будет больше при меньшем угле планирования. Однако, если пилот еще уменьшит угол и перейдет за некоторый предел, то дальность уже уменьшится, так как планер в этом случае будет, как говорят, «проваливаться» вследствие недостатка скорости, причем его продольная ось уже не будет совпадать с направлением полета. С таким углом планировать, следовательно, невыгодно, не говоря уже о том, что при этом планер легко может потерять скорость и стать неуправляемым. Выгоднее всего планировать с таким углом, при котором дальность будет наибольшая. Поэтому такой угол называется **наибольшим углом планирования**.

Если с одной и той же высоты и при одинаковых метеорологических условиях планируют несколько планеров различной конструкции, то из них тот сможет спланировать дальше, у которого лучше так называемое аэродинамическое качество (см. стр. 61). Качество рекордных планеров значительно лучше, чем учебных, поэтому они и летают лучше.



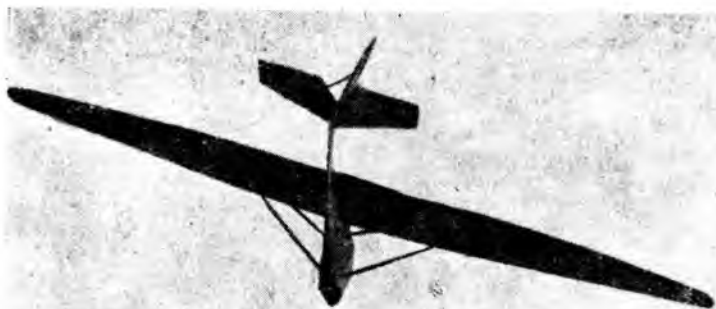
Фиг. 110. Дальность планирования тем более, чем меньше угол планирования.

Скорость планера в сравнении со скоростью самолета — невелика. Скорость учебных планеров обычно не превышает 50 км/час, а рекордных 80 км/час. Но даже и при такой незначительной скорости то расстояние, на которое планер может спланировать, он пролетает в течение очень короткого времени. Так, например, если учебный планер с высоты 100 м пролетает около километра, то его полет будет продолжаться, следовательно, всего около минуты. Таким образом при скользящих полетах на планере длительный полет невозможен.

При полетах с горы в долину пилот редко летит по прямой, ибо это невыгодно. Подобно тому как мальчик, мигом скатившись на санках с горы, вынужден потом долго тащить санки обратно, и чем дальше он съехал, тем дальше ему придется их тащить, так точно и с планером при скользящих полетах по прямой: после минутного полета планер надо тащить километр, а то и два по долине, да потом втащить на гору. Последнего избежать, разумеется, нельзя, но чтобы облегчить доставку планера обратно, пилот

летит обычно не по прямой, а с разворотами, благодаря чему он не уходит далеко от горы.

После взлета, как было сказано, пилот слегка дает ручку от себя и переводит планер на спуск. Установив нормальный угол планирования, он ставит руль высоты нейтрально, и планер, если он хорошо сбалансирован, сам держит данный ему угол планирования. Если воздух спокоен, то пилоту приходится де-



Фиг. 111. Полет с разворотами. При развороте вправо пилот слегка отклоняет ручку вправо (крен вправо) и «дает правую ногу» (руль поворотов отклонен вправо).

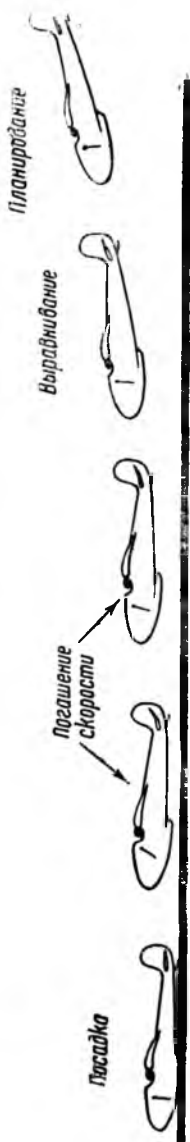
лать лишь незначительные движения рукой и ногами, чтобы сохранить равновесие планера.

Если пилот хочет сделать разворот, то после того как скорость установилась, он сначала дает слегка ручку от себя, чтобы несколько увеличить скорость: затем одновременно дает ручку в сторону разворота и соответствующую «ногу», т. е. если он хочет, например, повернуть вправо, то дает ручку вправо и правую ногу. Под действием элеронов и руля поворотов планер кренится вправо и одновременно начинает заворачивать вправо (фиг. 111).

Планер будет продолжать разворот до тех пор,

пока элероны и руль поворотов отклонены от своего нейтрального положения. Поэтому, если пилот не уберет ручку и ногу, то планер будет делать спираль, что при скользящем полете мало возможно, так как помешает гора. да и высота недостаточна. Обычно, как только планер развернется на  $90^\circ$ , пилот, убрав ручку и ногу, кончает разворот и летит снова прямолинейно, т. е. вдоль склона. Затем, если высота еще имеется, он делает разворот влево, но только на этот раз уже на  $180^\circ$  и летит вдоль склона в обратную сторону. В зависимости от запаса высоты можно сделать иногда несколько таких разворотов. Во всяком случае, таким путем пилот может сделать посадку почти у подножия склона, а, следовательно, доставка планера на старт будет легче и потребует меньше времени, чем после полета по прямой.

Разворот, или вираж, т. е. полет планера по кривой малого радиуса, есть более сложное движение, чем полет прямолинейный. Несколько подробнее о вираже будет рассказано дальше, когда будет идти речь о фигурном полете на планере. Сейчас же скажем лишь, что на вираже движения пилота ручкой и ногами должны быть более точны и плавны, чем при полете по прямой. Эти движения должны быть тесно связаны между собой, дол-

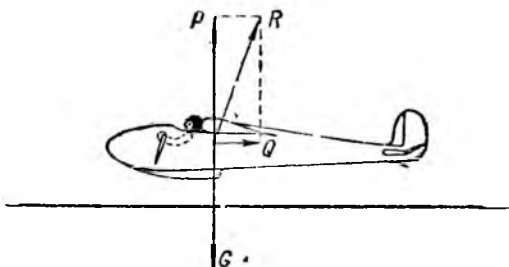


Фиг. 112. Посадка планера. На схеме показаны последовательные положения ручки и руля высоты от начала выравнивания машины до приземления.

жны быть, как говорят, строго координированы. Правильный вираж — показатель искусства пилота.

## ПОСАДКА

Посадка на планере значительно легче, чем на самолете. Сущность посадки на планере, как и на самолете, заключается в том, чтобы еще до момента прикосновения аппарата к земле как можно больше уменьшить скорость полета или, как говорят, погасить скорость. Так как скорость планера значи-

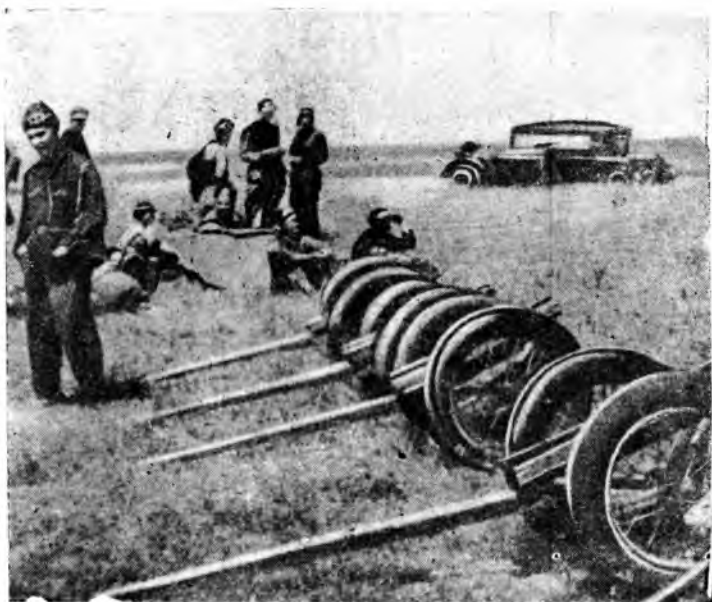


Фиг. 113. Схема сил, действующих на планер в момент выравнивания перед посадкой.

тельно меньше скорости самолета, то ясно, что и погасить ее легче, а, следовательно, и процесс самого приземления тоже проще.

Когда до земли остается метра два-три высоты, пилот уменьшает угол планирования (фиг. 112), т. е. чуть-чуть берет ручку на себя. Тем самым он уменьшает и скорость полета. Это движение ручки на себя пилот продолжает и дальше, делая его очень плавно, причем движение это маленькое, едва заметное. Таким путем на высоте около метра над землей пилот переводит планер в горизонтальный полет, как говорят, выравнивает машину. Но из предыдущего мы знаем, что планер не может лететь горизонтально, поэтому скорость его постепенно уменьшается, гаснет, и

скоро наступает момент, когда ее уже едва хватает для поддержания машины в воздухе. Эта наименьшая скорость, с которой планер может еще держаться в воздухе, и называется посадочной скоростью (она обычно раза в два меньше нормальной).



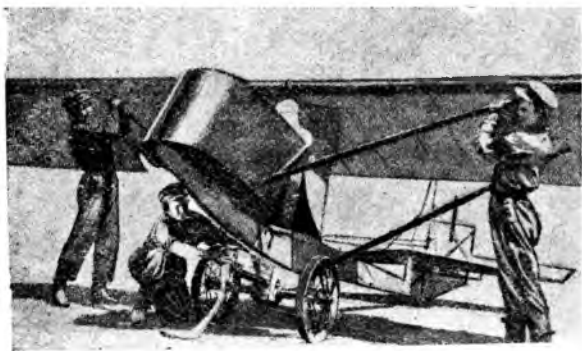
Фиг. 114. Двухколесные тележки, служащие для подвозки планеров к старту.

Продолжая гаснуть, скорость становится меньше посадочной и планер уже не может продолжать полет; в этот момент пилот еще слегка берет ручку на себя, чуть-чуть «задирая» нос машины, и последняя мягко касается земли, проползает на своей лыже десяток — другой шагов и останавливается. Так как у планера только одна лыжа, то ясно, что он не может сохранить на земле поперечное равновесие, и после посадки одно из крыльев опускается к земле.



Чтобы лучше понять, почему при выравнивании планера гаснет его скорость, рассмотрим, под действием каких сил находится планер перед посадкой.

В тот момент, когда пилот выравнивает планер горизонтально, сила давления воздуха на крылья отклонится от вертикали, как мы знаем, несколько назад (фиг. 113). Если мы разложим ее, как делали раньше, на подъемную силу  $P$  и силу лобо-



Фиг. 115. Установка планера на тележку для перевозки. Тележка ставится под центр тяжести планера.

вого сопротивления  $Q$ , то получим схему сил, под действием которых будет находиться планер в этот момент. Рассматривая эту схему, мы видим, что силу тяжести уравнивает подъемная сила  $P$ , которая несколько увеличилась за счет увеличения угла атаки крыльев и стала равна силе тяжести  $G$ . Но какая же сила уравнивает теперь силу лобового сопротивления  $Q$ ? При планировании планера ее уравнивала часть силы тяжести (см. фиг. 60), под действием которой, как мы раньше видели, планер и скользит по наклонной. Теперь же нет никакой силы, которая уравнивала бы силу лобового сопротивления  $Q$ . Но мы знаем, что эта сила направлена в сторону, обратную движению планера, — в данном случае горизонтально назад. Ясно, что именно эта сила заторма-

живает движение планера, т. е. благодаря ей и гаснет его скорость.

Для доставки планера от места посадки на старт служат двухколесные тележки, обычно на пневматиках (фиг. 114). Тележка ставится под центр тяжести планера (фиг. 115), благодаря чему хвост разгружается при перевозке от толчков. Перевозка осуществляется обычно лошадью. При перевозке планер придерживается за опущенное крыло (с наветренной стороны) сопровождающим. При сильном ветре второй сопровождающий придерживает планер за подкосы или, если их нет, за фюзеляж около кабины пилота (чтобы машину не поддуло ветром).

В заключение этой главы приведем основные полетные данные современных рекордных планеров. Эти данные колеблются примерно в следующих пределах:

|                                      |                 |
|--------------------------------------|-----------------|
| Скорость полета наивыгоднейшая . . . | 65 — 80 км/час  |
| Скорость снижения . . . . .          | 0,9 — 0,6 м/сек |
| Качество планера . . . . .           | 20 — 30.        |

В следующей главе мы займемся самым интересным в области безмоторного летания — парящим полетом планера, т. е. рассмотрим, при каких условиях, почему и как планер может парить подобно горным птицам, часами кружа в вышине.

## ГЛАВА VII

# ПАРЯЩИЙ ПОЛЕТ НА ПЛАНЕРЕ В ПОТОКАХ ОБТЕКАНИЯ

## ЧТО ТАКОЕ ПАРЯЩИЙ ПОЛЕТ

Разобранный нами скользящий полет на планере, т. е. возможность слетать на планере с горы в долину, настолько прост, что обычно не вызывает никакого удивления даже у людей, которые наблюдают его впервые. Удивление же, а часто даже и недоуме-

ние, вызывает так называемый парящий полет на планере.

В самом деле, непосвященному трудно сразу понять, каким образом на планере — безмоторном аппарате тяжелее воздуха — удается часами парить в вышине подобно тому, как парят орлы, ястребы и некоторые другие породы горных птиц, забираясь высоту в тысячи метров и делать перелеты на десятки и даже сотни километров. Но в действительности в парящем полете на планере нет ничего сложного, и он по существу ничем не отличается от скользящего полета.

При парении, как и при скользящем полете, планер тоже планирует, т. е. летит по наклонной вниз. Но дело в том, что воздух, в котором происходит в данном случае планирование, сам поднимается вверх и, следовательно, поднимает и планирующий в нем планер. Так как движения воздуха мы не видим, то нам кажется, что безмоторный планер каким-то чудесным образом самостоятельно, подобно самолету, забирает ввысь. Парящий полет на планере (как и парящий полет птиц) возможен лишь при наличии восходящих потоков воздуха, о которых уже кое-что было сказано в первой главе и к которым мы еще вернемся. Пока же разберем один пример, который поможет нам легче понять сущность парящего полета.

Вы провожаете вашего товарища, уезжающего на пароходе. Вы стоите на пристани, а ваш товарищ — на носу парохода. Пароход начал двигаться (мимо вас). Ваш товарищ, желая поговорить с вами на прощание, идет по палубе по направлению к корме, благодаря чему некоторое время остается против вас. Но вот скорость парохода увеличилась настолько, что ваш товарищ, быстро идя по палубе по направлению к вам, тем не менее удаляется от вас, и вы уже не можете переговариваться, а только оба машете фуражками. Он удаляется от вас потому, что его собственная скорость стала меньше противоположной по направлению скорости парохода, т. е. стала меньше скорости системы, вместе с которой он движется в

пространстве. То же самое происходит, как мы увидим, и с планером в парящем полете.

Если планер планирует в неподвижном воздухе (или вдвигающемся горизонтально), то он неизбежно будет скользить по наклонной к земле, т. е. снижаться. Но представьте себе, что сам воздух («система», в нашем примере — пароход) начал двигаться вверх. Тогда планирующий в нем планер (в примере — ваш товарищ) замедлит свое приближение к земле. В зависимости от величины скорости поднимающегося вверх воздуха и той скорости, с которой при планировании снижается планер, тут возможны три случая.

*Первый случай.* Скорость собственного снижения планера больше скорости поднимающегося воздуха, т. е. скорости «системы». Ясно, что в этом случае планер, хотя и медленнее, чем в спокойном воздухе, но все же будет снижаться относительно земли.

*Второй случай.* Скорость снижения планера равна скорости восходящего потока воздуха. Очевидно, что в данном случае планер не будет ни подниматься, ни снижаться относительно земли; иными словами, планер будет лететь горизонтально, хотя продольная ось его будет наклонена к горизонту под тем же углом, под которым она наклонена и тогда, когда он планирует в спокойном воздухе.

*Третий случай.* Скорость снижения планера меньше скорости восходящего воздушного потока. Нетрудно понять, что в этом случае планер будет подниматься, т. е. будет набирать высоту, хотя продольная ось его опять-таки будет наклонена вниз и под тем же углом, с каким он планирует в спокойном воздухе.

Таким образом во втором и третьем случаях планер может не терять высоты, а в третьем случае даже набирать высоту. Иными словами, в этих случаях планер будет парить.

Итак, сущность парящего полета заключается, следовательно, в том, что планер набирает высоту не самостоятельно, а его поднимает движущийся вверх воздушный поток.

Сказанное о парящем полете станет еще более оче-

видным, если мы точно определим, что значит скорость снижения планера и скорость восходящего воздушного потока. Но прежде чем это сделать, надо ближе познакомиться с восходящими воздушными потоками.

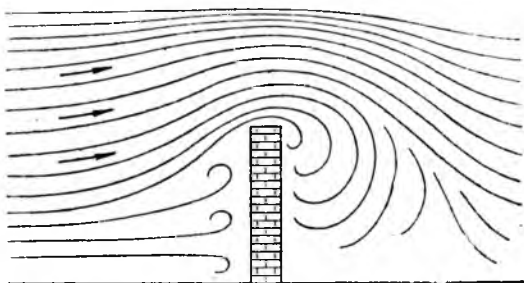
## **ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОСХОДЯЩИЕ ПОТОКИ ИЛИ ПОТОКИ ОБТЕКАНИЯ**

В главе первой мы познакомились уже с одним видом восходящих воздушных потоков, а именно с теми вертикальными восходящими воздушными течениями, которые возникают вследствие нагрева земной поверхности солнечными лучами. Поэтому такого рода восходящие воздушные потоки и называются **те р м и ч е с к и м и** (от греческого слова *thermos*, что значит теплый); планеристы их называют кратко **те р м и к а м и**. К ним мы еще вернемся, а сейчас познакомимся с другим видом восходящих потоков, которые называются **д и н а м и ч е с к и м и**, т. е. связанными с проявлением силы (от греческого слова *dynamis* — сила), именно силы ветра. Впрочем, чаще эти потоки называют **п о т о к а м и о б т е к а н и я**.

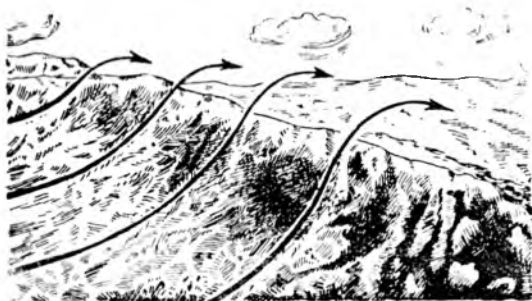
Как же возникают динамические восходящие потоки или потоки обтекания?

Пусть на открытом месте стоит какое-либо препятствие (дом, стена, забор) и перпендикулярно к нему дует ветер (фиг. 116). Встретив на своем пути такое препятствие, ветер, т. е. горизонтальный поток воздуха, обходит, **о б т е к а е т** его не только с боков, но и сверху. Рассматривая фиг. 116, мы видим, что перед препятствием происходит сжатие струй воздуха, затем эти струи поднимаются под углом вверх, обтекают препятствия и отклоняются снова вниз, причем за препятствием образуются завихрения. Эти завихрения являются следствием того, что сзади препятствия получается пониженное давление воздуха, тогда как впереди — повышенное. Если препятствием является, например, дом, то впереди и позади дома будет затишье, а по бокам и на крыше ветер будет дуть сильнее, чем на открытом месте.

Таким образом препятствие изменяет направление ветра, отклоняя горизонтальный поток воздуха частью вверх и частью в стороны (последнее на фигуре не показано). Так же примерно обтекает ветер



Фиг. 116. Обтекание ветром препятствия.



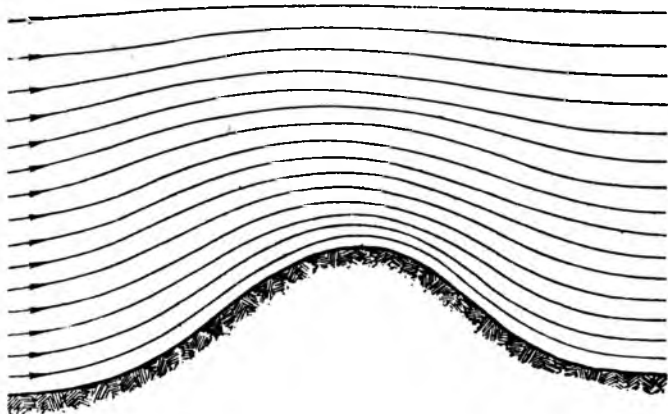
Фиг. 117. Обтекание ветром горы, когда ветер дует перпендикулярно склону.

и одиноко стоящую гору, но только обтекать ее он будет более плавно.

Если препятствием является не одиноко стоящая гора, а горный хребет (фиг. 117), то отклонение горизонтального потока воздуха вверх будет более сильным, так как ветер не может обойти такое препятствие сбоку, и весь воздушный поток должен будет отклониться вверх, чтобы обойти препятствие сверху.

Иными словами, если ветер дует перпендикулярно направлению хребта, то перед хребтом образуется восходящий поток воздуха (фиг. 118), который за хребтом переходит в нисходящий, а затем переходит постепенно в горизонтальный.

Восходящие потоки у гор, возникающие описанным путем, т. е. погоки обтекания будут тем сильнее,



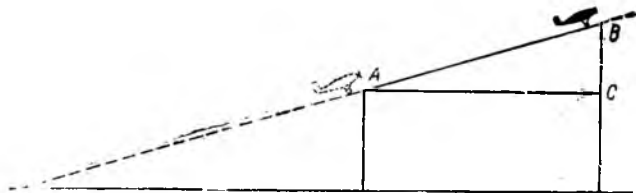
Фиг. 118. Потоки обтекания. Восходящие потоки перед склоном и нисходящие — за склоном.

чем выше гора. Большое значение имеют еще направление и крутизна склона, в который ударяет ветер. Если ветер дует не прямо в склон, а под углом, то восходящие потоки будут слабее, так как ветер будет частично обтекать гору вдоль по склону. Наиболее мощные восходящие потоки получаются, если ветер дует перпендикулярно направлению хребта, а крутизна склона равна примерно  $45^\circ$  к горизонту.

В таком случае при ветре средней силы восходящие потоки достигают высоты в два — три раза большей, чем высота горы (над долиной). Если склон покрыт лесом, то восходящие потоки будут очень слабы. Наконец, мощность восходящих потоков зависит и от скорости ветра. Наиболее выгодной яв-

ляется, как показывает опыт, скорость ветра от 10—15 м/сек.

Рассматривая фиг. 118, мы видим, что восходящий поток перед склоном поднимается не вертикально вверх, а под некоторым углом. Ясно, что и скорость этого воздушного потока будет направлена тоже под этим углом вверх. Какова же будет вертикаль-



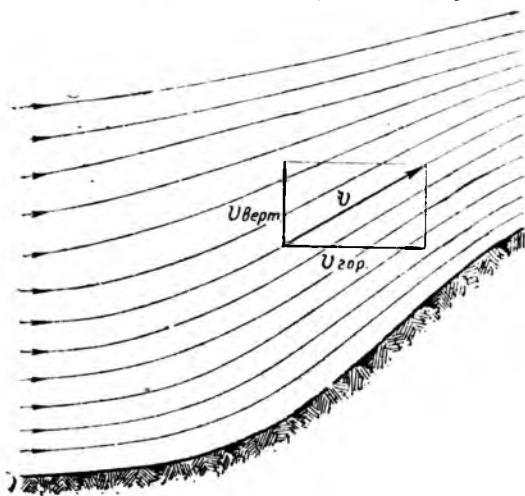
Фиг. 119. Если самолет при набирании высоты летит со скоростью  $AB$ , то  $AC$  будет его горизонтальная скорость, а  $BC$ —вертикальная, т. е. скорость подъема.

ная скорость восходящего потока? Для того чтобы это выяснить, приведем сначала один маленький пример.

Пусть самолет набирает высоту под некоторым углом, т. е. летит по наклонной вверх (фиг. 119), причем расстояние от точки  $A$  до точки  $B$  он пролетает в единицу времени. Так как в механике скоростью тела называется путь, проходимый телом в единицу времени, то следовательно, наш самолет летит со скоростью  $AB$ . Если это расстояние равно, скажем, 50 м и самолет пролетает его в одну секунду, то скорость самолета будет 50 м/сек. Ясно, что по горизонту самолет подвинется за эту секунду меньше, чем на 50 м, так как  $AC$  меньше  $AB$ . Но зато он за эту секунду поднимается на высоту  $BC$ . Эта высота и будет вертикальной скоростью нашего самолета. Если, скажем, эта высота равна 8 м, то вертикальная скорость нашего самолета будет 8 м/сек. Таким образом самолет в каждую секунду набирает 8 м высоты. Скорость же  $AC$  будет горизонтальной скоростью самолета.



Скорость в механике изображается в виде отрезка прямой линии со стрелкой, указывающей направление скорости, т. е. совершенно так же, как обозначается и сила. И совершенно так же, как и силы, скорости можно складывать и разлагать. Если скорости направлены под углом друг к другу, то они складываются, подобно силам по правилу параллелограмма. И, наоборот, всякую скорость



Фиг. 120. Разложение скорости ветра перед склоном на две: горизонтальную и вертикальную.

можно разложить на две под углом друг к другу, если только указаны направления, по которым их надо разложить.

После этих замечаний вернемся к восходящему воздушному потоку и посмотрим, какова будет его вертикальная скорость.

Обозначим скорость восходящего потока буквой  $V$  и разложим эту скорость по правилу параллелограмма по двум направлениям — по горизонтали и по вертикали (фиг. 120). Тогда мы получим две скорости:  $V_{гор}$  и  $V_{верт}$ . Так как  $V_{гор}$  меньше  $V$ , то ясно,

что горизонтальная скорость ветра в зоне восходящего потока будет меньше, чем скорость ветра на ровном месте. Но зато частицы воздуха, составляющие воздушный поток, будут подниматься перед склоном вверх со скоростью  $V_{\text{верт}}$ .

Чем больше угол, на который склон изменяет направление ветра, тем больше будет и вертикальная скорость восходящего потока. Если, например, ветер дует со скоростью 12 м/сек, то вертикальная скорость восходящего потока в зависимости от крутизны склона достигает 3—4 м/сек. Сейчас мы убедимся, какое большое значение имеет вертикальная скорость восходящего потока для парения на планерах.

## УСЛОВИЯ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ПАРЯЩЕГО ПОЛЕТА НА ПЛАНЕРЕ

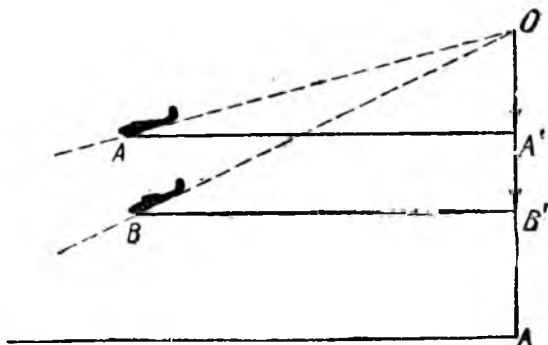
Мы знаем, что планер всегда планирует, т. е. спускается с некоторой высоты по наклонной вниз. Если с одной и той же высоты планируют два планера, то тот из них сможет дольше пробыть в воздухе, который снижается медленнее, т. е. у которого, как говорят, скорость снижения меньше. В начале этой главы уже упоминалось о скорости снижения планера, но теперь нам нужно познакомиться с ней поближе.

Пусть два планера одновременно начали планировать с одной и той же высоты (фиг. 121). Предположим, что через некоторое время один из них оказался в точке  $A$ , а другой — в точке  $B$ . Проведем из этих точек линии, параллельные горизонту. Тогда мы легко убедимся, что за одно и то же время планеры снизились на разную высоту — первый — на  $OA'$ , второй — на  $OB'$ , т. е. один из них снижался медленнее, а другой быстрее. Иными словами скорость снижения наших планеров была различна.

Посмотрим теперь точнее, что называется скоростью снижения? Пусть планер планирует под некоторым углом к горизонту (фиг. 122) со скоростью  $V$ . Это значит, что в каждую секунду он пролетает  $V$  метров. Это расстояние мы обозначаем на чертеже отрезком

прямой, причем стрелка показывает направление, в котором планер движется со скоростью  $V$ . Иными словами,  $V$  есть скорость планирования нашего планера.

Разложим теперь эту скорость по правилу параллелограмма на две составляющие — по горизонтали и по вертикали. Ясно, что горизонтальная составляющая будет тем расстоянием, которое пролетит планер



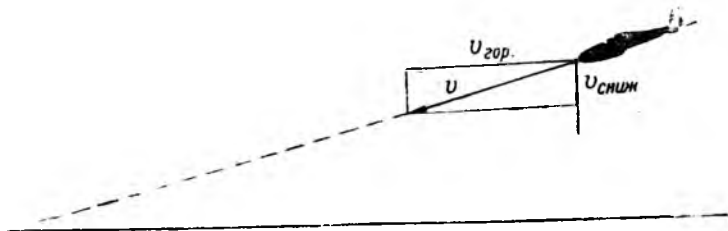
Фиг. 121. Из двух планеров за одно и то же время тот теряет больше высоты, скорость снижения которого больше.

в одну секунду в горизонтальном направлении; иными словами, горизонтальная составляющая будет горизонтальной скоростью планера, почему мы и обозначим ее через  $V_{гор}$ . Вертикальная же составляющая будет тем расстоянием, на которое снизится планер в одну секунду; иначе говоря, вертикальная составляющая будет скоростью снижения планера, почему мы и обозначим ее через  $V_{сниж}$ . Таким образом мы устанавливаем следующее положение:

*Скоростью снижения планера называется то расстояние по вертикали, на которое планер спустится в одну секунду.*

Скорость снижения у разных планеров различна. Она зависит от аэродинамического качества планера, о котором упоминалось в предыдущей главе. Чем лучше качество планера, тем меньше его скорость снижения. Чем меньше скорость снижения пла-

нера, тем с меньшим углом, т. е. более полого, он может планировать, что легко видеть на фиг. 121. Иными словами, чем меньше скорость снижения планера, тем лучше он может летать, а, следовательно, и тем легче он может парить. В этом мы сейчас убедимся, если рассмотрим те три случая полета планера в потоках обтекания, о которых вкратце было сказано в начале этой главы.



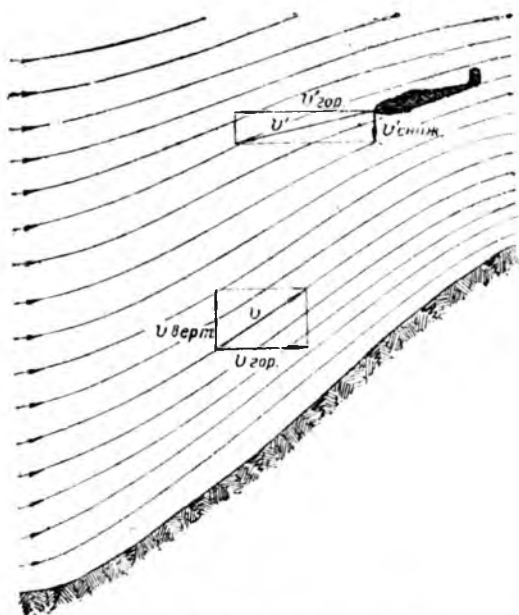
Фиг. 122 Парящий полет планера в потоках обтекания. Разложение скорости планирования планера на горизонтальную скорость и на скорость снижения.

Пусть ветер дует прямо в склон, вследствие чего образуется, как мы знаем, восходящий поток (фиг. 123). Разложим скорость потока  $V$  на две составляющие — по горизонтали и по вертикали. Тогда получим горизонтальную скорость ветра в зоне восходящего потока, которую обозначим через  $V'_{гор}$ , и вертикальную, которую обозначим через  $V'_{верт}$ .

И пусть в зоне этого восходящего потока летит планер. Обозначим скорость его планирования через  $V''$  и разложим ее, как делали раньше, на две составляющие: по горизонтали и по вертикали. Тогда получим горизонтальную скорость планера, которую обозначим через  $V'_{гор}$ , и скорость снижения планера, которую обозначим через  $V'_{сниж.}$

Горизонтальные скорости ветра и планера нас сейчас не интересуют. Чтобы определить, при каких условиях возможен парящий полет, необходимо смотреть только на вертикальную скорость ветра и на скорость снижения планера, которые направлены прямо в противоположные стороны: одна — вверх,

другая — вниз. От величин этих скоростей и будет зависеть возможность для нашего планера парить. Нетрудно убедиться, что тут могут быть три случая.



Фиг. 123. Парящий полет планера в потоках обтекания. Разложение скоростей планера и ветра в потоке обтекания.

**Первый случай.** Скорость снижения планера  $V'_{\text{сниж}}$  больше вертикальной скорости ветра  $V'_{\text{верт}}$ . Это значит, что в каждую секунду планер при планировании будет терять больше высоты, чем та, на которую его за ту же секунду будет поднимать восходящий поток воздуха («система»). Ясно, что в этом случае планер относительно земли будет снижаться, но все же медленнее, чем при отсутствии восходящего потока.

**Второй случай.** Скорость снижения планера  $V'_{\text{сниж}}$  равна вертикальной скорости ветра  $V'_{\text{верт}}$ . Это значит, что в каждую секунду планер при планировании будет терять такую же высоту, на какую его подни-

мет в течение той же секунды восходящий поток. Ясно, что в этом случае планер относительно земли не будет ни опускаться, ни подниматься, т. е. будет лететь горизонтально, хотя нос его, как обычно, будет слегка наклонен вниз. Иными словами, в этом случае планер будет лететь, не теряя высоты, т. е. будет уже парить.

*Третий случай.* Скорость снижения планера  $V'_{\text{сниж}}$  меньше вертикальной скорости  $V_{\text{верт}}$ . Это значит, что в каждую секунду планер при планировании будет терять меньше высоты, чем та, на которую его за ту же секунду поднимет восходящий поток. Ясно, что в этом случае планер относительно земли будет подниматься, хотя нос его попрежнему будет наклонен вниз. Иными словами, в этом случае (он как раз изображен на фиг. 123) планер будет парить, набирая высоту:

*Парящий полет планера в потоках обтекания возможен тогда, когда скорость снижения планера меньше вертикальной скорости восходящего потока или, по крайней мере, равна ей.*

Само собой разумеется, что в обоих этих случаях, планер может летать продолжительное время; нужно только, чтобы дул ветер определенного направления и достаточной силы и чтобы пилот не выходил из зоны восходящего потока.

В следующей главе мы и посмотрим, как поступает пилот для того, чтобы не выйти из этой зоны, и в чем заключаются особенности парящего полета, т. е. взглянем вкратце на технику парения на планере в потоках обтекания.

## ГЛАВА VIII

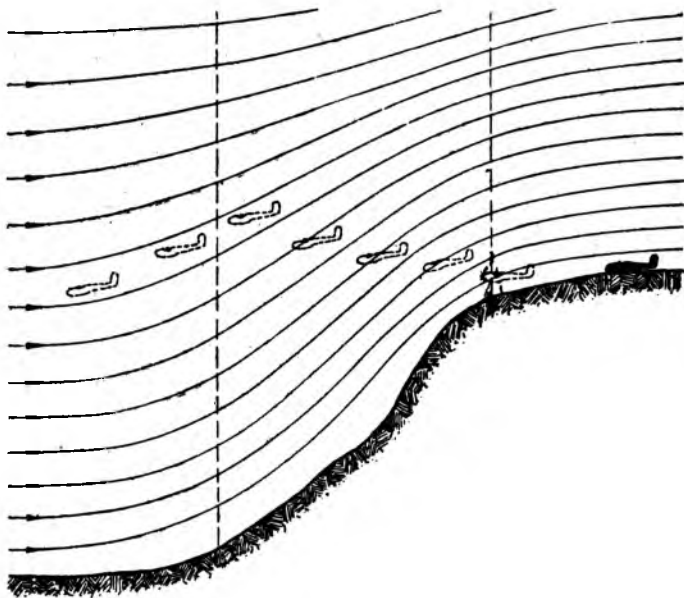
# ТЕХНИКА ПАРЯЩЕГО ПОЛЕТА В ПОТОКАХ ОБТЕКАНИЯ

## МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ СТАРТА И ВЗЛЕТ В ЗОНУ ПОТОКА

Итак, если ветер дует прямо в склон длинного холма (хребта), то над склоном образуется восходящий поток. Ясно, что этот поток будет наиболее мощным там,

где ветер, обтекая гору, дует под наибольшим углом вверх.

Опыт показывает, что наиболее мощный восходящий поток бывает в пространстве над склоном — от его основания до вершины горы. Это пространство,



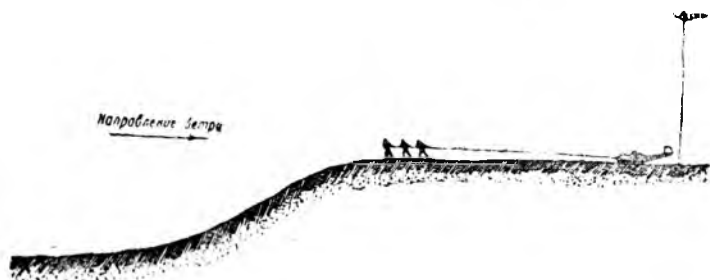
Фиг. 124. Парящий полет планера в потоках обтекания. Схема взлета планера в зону потока.

В зоне потока (обозначена пунктиром) планер набирает высоту, по выходе из зоны — теряет высоту.

ограниченное на фиг. 124 пунктиром, и называется зоной восходящего потока или просто зоной потока. Из фиг. 124 видно, что ширина зоны потока зависит от крутизны склона и от высоты горы. От этого же, а также и от скорости ветра зависит и высота зоны; как указывалось раньше высота зоны достигает при благоприятных условиях примерно тройной высоты горы. По длине же зона потока равна, очевидно, длине холма (хребта) и, следова-

тельно, чем длиннее хребет, тем протяженнее зона потока. Сейчас мы увидим, что ширина, высота и протяженность зоны потока имеют большое значение для парящего полета в потоках обтекания.

Для того чтобы пилот мог хорошо использовать для парения зону потока, важно прежде всего правильно расположить старт. Стартом называется площадка, с которой взлетает планер<sup>1</sup>. Стартовая площадка



Фиг. 125. Месторасположение старта над склоном.

(далее будем называть ее просто стартом) разбивается на вершине хребта с таким расчетом (фиг. 125), чтобы планер тотчас же после взлета оказался в зоне потока. Следовательно, старт должен находиться над самым склоном, т. е. вблизи гребня хребта. Кроме того, так как тотчас же после взлета планер, чтобы не выйти из зоны потока, должен лететь вдоль хребта, старт выгодно расположить не в середине хребта, а ближе к одному из его концов. Итак, старт располагают (говорят «разбивают») над самым склоном, по возможности ближе к одному из концов хребта. Вальность того и другого сейчас станет нам понятной.

На фиг. 124 схематически показан взлет планера в зону потока, причем границы последней, как сказано, отмечены пунктиром. Так как планеристы уже знают из опыта, где примерно ближняя граница зоны потока, то старт разбивают с таким расчетом, чтобы

<sup>1</sup> Стартом называют также и момент взлета. «Дать старт» — дать сигнал к взлету.



тотчас же после взлета планер оказался в зоне потока. Что произойдет с планером дальше?

Если поток достаточно мощен, то, как мы знаем из предыдущей главы, планер не будет терять высоты и станет парить; его, как говорят планеристы, будет «держатъ», т. е. его будет поддерживать поток, в котором он будет лететь горизонтально или даже забирать высоту.

Пусть поток достаточно мощен, и планер после взлета начинает подниматься. На фиг. 124 показаны последовательные положения планера после взлета в зону потока. Мы видим, что пока планер долетит до границы потока, он поднимется уже выше точки взлета, т. е. наберет некоторую высоту. Но как только планер, продолжая полет в том же направлении, выйдет из зоны потока, его уже не станет «держатъ», и он начнет снижаться, т. е. не сможет парить и будет опускаться скользящим полетом в долину.

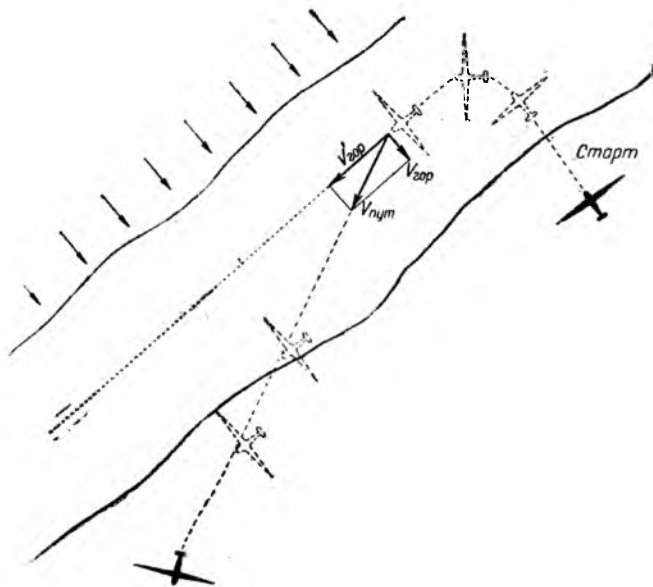
Ширина зоны потока достигает обычно всего нескольких десятков метров. Следовательно, если планер полетит в направлении взлета, как показано на фигуре, то, едва успев чуть-чуть набрать высоту, он уже через две — три секунды вылетит из зоны потока и начнет снижаться в долину. Конечно, зона потока не кончается так резко, как это для простоты обозначено на схеме пунктиром; на самом деле вертикальная скорость ветра при обтекании им горы исчезает по обеим сторонам зоны потока не сразу, а постепенно; но по обеим сторонам зоны поток уже недостаточно силен, чтобы «держатъ» планер.

Таким образом если пилот хочет парить в потоках обтекания, он не должен лететь в направлении взлета, иначе он очень быстро выйдет из зоны потока, а должен повернуть на  $90^\circ$  и лететь вдоль склона, все время оставаясь в зоне потока.

Посмотрим, какое направление он должен для этого держать и как он будет управлять планером, чтобы лететь продолжительное время и набирать высоту.

## ПОЛЕТ В ПОТОКАХ ОБТЕКАНИЯ И НАБОР ВЫСОТЫ

На фиг. 126 гора показана в плане (т. е. сверху), причем гребень горы (хребта) обозначен жирной линией, а подножие склона — тонкой. Направление ветра, как и на предыдущих схемах, указано стрел-



Фиг. 126. Парящий полет в потоках обтекания. Схема полета планера, пилот которого после взлета в зону потока взял неправильное направление.

ками. Старт разбит на конце хребта с тем, чтобы пилот, повернув после взлета налево, мог лететь к другому концу хребта, набирая по пути высоту. Ясно из предыдущего, что он должен лететь вдоль склона, оставаясь все время в зоне потока; на нашей схеме направление его полета должно, следовательно, проходить между жирной и тонкой линиями. Это направление полета, которого примерно должен дер-

жаться пилот, обозначим точками (пунктиром). Спрашивается куда должен направить пилот свой планер, чтобы он летел в этом направлении?

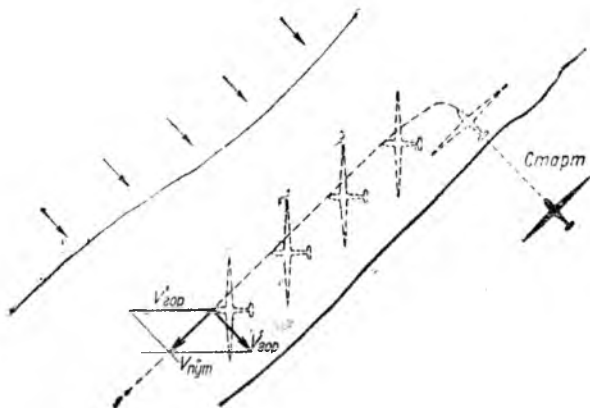
Пусть пилот, повернув после взлета налево, взял направление по намеченной нами пунктирной линии. Полетит ли планер по этой линии? На первый взгляд кажется, что, конечно, полетит, потому что нос его как раз направлен по этой линии, т. е. по той линии, по которой пилот и хочет лететь. На самом же деле, если пилот возьмет такое направление, он, как мы сейчас убедимся, полетит совсем не туда, куда нужно, и очень скоро выйдет из зоны потока.

Дело в том, что как только пилот повернет налево, ветер, который при взлете был встречным, теперь станет боковым и, следовательно, начнет сносить планер в сторону, в нашем случае — влево. Правда, ветер, обтекая гору, дует над склоном не горизонтально, а под углом вверх, но все же у него есть и горизонтальная скорость, в чем мы убедились в предыдущей главе, когда разлагали скорость ветра над склоном на вертикальную и горизонтальную. Эта горизонтальная скорость ветра над склоном, которую мы обозначали через  $V_{гор}$ , конечно, меньше скорости ветра над долиной или над горой, но все же она еще значительна в сравнении со скоростью планера и, слагаясь с ней, сильно изменяет направление полета планера.

Чтобы убедиться в этом, сложим скорость планера  $V'_{гор}$  с горизонтальной скоростью ветра  $V_{гор}$  по правилу параллелограмма (фиг. 126). Тогда диагональ полученного параллелограмма  $V_{пут}$  и будет по величине и по направлению скоростью планера относительно земли. Мы видим, во-первых, что скорость эта будет больше собственной скорости планера и, во-вторых, что эта скорость направлена совсем не туда, куда хочет лететь пилот, а значительно левее. Ясно, что если пилот будет держать взятое им направление, то планер полетит не по линии, обозначенной точками, а по линии обозначенной штрихами. Таким образом хотя нос планера будет направлен вдоль

склона, планер относительно земли будет лететь боком в направлении на склон.

К чему это приведет, если пилот во-время не изменит направления? Ясно, что если планер находится ниже гребня хребта, он ударится в склон, т. е. произойдет катастрофа. Если же пилот уже успел набрать немного высоты, то он благополучно, хотя и



Фиг. 127. Парящий полет планера в потоках обтекания. Правильный полет в зоне вихря.

низко, пролетит над гребнем; но, оказавшись над горой, т. е. вне зоны потока, он уже не сможет лететь без потери высоты и вынужден будет тотчас же сделать посадку с боковым ветром тут же вблизи гребня.

Итак, если пилот после взлета полетит прямо, то он выйдет из зоны потока и вынужден будет сесть в долину; если же он направит нос планера вдоль склона, то тоже выйдет из зоны потока и, как мы видели, в лучшем случае, если не потерпит аварии, вынужден будет сесть на горе вблизи гребня. Для того чтобы остаться в зоне потока, пилот, сделав разворот после взлета, должен взять такое направление, чтобы его не относило ветром на склон. Какое же это направление?

На фиг. 127 показана схема правильного полета вдоль склона, когда планер все время остается в зоне

востока. Для того чтобы парализовать снос от бокового ветра, пилот берет направление несколько на ветер, т. е. ставит нос планера не по линии, по которой он должен лететь (обозначенной пунктиром), а под некоторым углом к ней. Этот угол должен быть



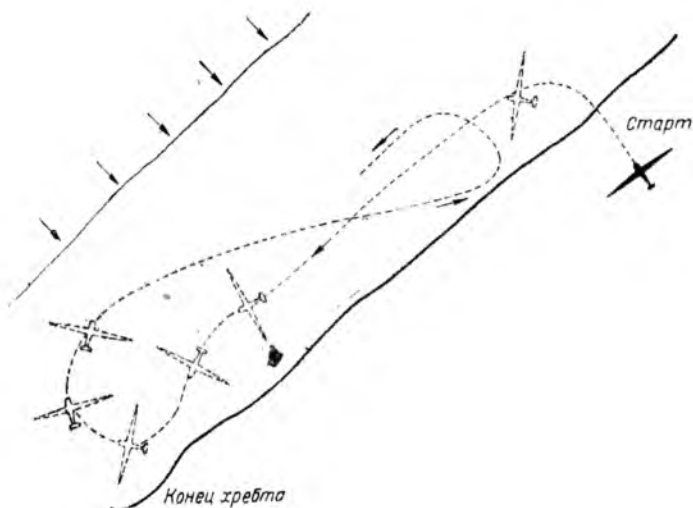
Фиг. 128. Полет планера в потоках обтекания над южным склоном горы Клементьева.

таким, чтобы равнодействующая скоростей планера  $V'_{гор}$  и ветра  $V_{гор}$  была направлена как раз туда, куда пилот хочет лететь. Таким образом планер будет лететь вдоль склона, хотя нос его будет повернут от склона на ветер (фиг. 128), т. е. относительно земли планер будет лететь боком.

Из нашей схемы мы между прочим видим, что равнодействующая скоростей планера и ветра, т. е. та скорость  $V_{пут}$ , с которой планер будет лететь отно-

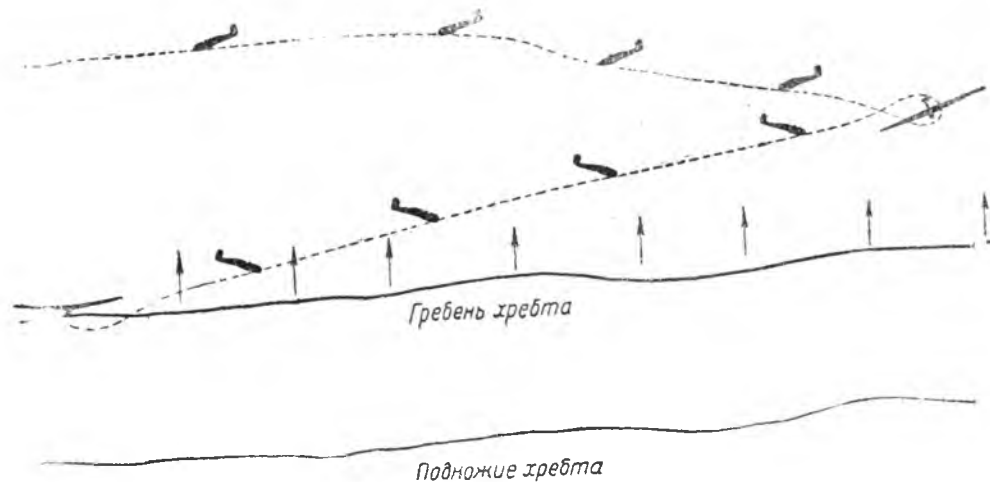
сительно земли (поэтому ее и называют земной или путевой скоростью), меньше собственной, т. е. воздушной, скорости планера. Это и понятно, так как часть скорости планера идет на то, чтобы парализовать снос от бокового ветра.

Дойдя до другого конца хребта и набрав некоторую высоту, пилот поворачивает назад, делая разворот обязательно на ветер (фиг. 129), чтобы во время раз-



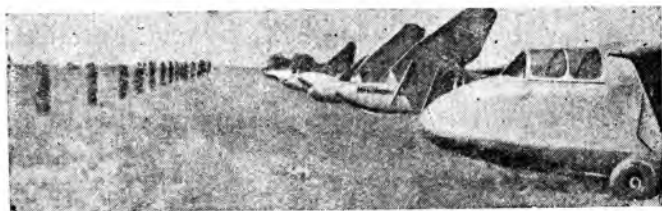
Фиг. 129. Парящий полет планера в потоках обтекания. Во время рейсов над склоном в зоне потока пилот-паритель всегда разворачивается против ветра.

ворота его не сносило ветром из зоны потока. На обратном пути он держит нос планера, конечно, опять на ветер, и планер, как и раньше, летит относительно земли боком. Над стартом или, вернее, чуть не доходя до него, он снова поворачивает на  $180^\circ$  и летит опять к другому концу хребта. Таким образом, держась все время в зоне потока и разворачиваясь всегда против ветра, пилот может летать над склоном столько времени, сколько дует ветер и сколько может выдержать пилот, т. е. много часов подряд.



Фиг. 130. Парящий полет планера в потоках обтекания. Набирая высоту относительно земли, планер снижается относительно воздуха, т. е. планер всегда планирует.

Если ветер настолько силен, что вертикальная слагающая ветра больше скорости снижения планера, то последний легко набирает высоту. Таким образом пилот, летая в зоне потока над склоном, поднимается все выше и выше над горой. Он сможет продолжать подъем до той высоты, на которой вертикальная скорость ветра в потоке станет равной скорости сниже-



Фиг. 131. XI Всесоюзный слет планеристов в Коктебеле на горе Клементьева (1935 г.). Парад.

ния планера, — на этой высоте пилот сможет лететь уже только горизонтально.

Следует помнить, что во все время парящего полета планера в потоках обтекания планер планирует, но планирует не в спокойном воздухе, а в восходящем потоке, который и поднимает его вверх.

На фиг. 130 схематически изображен вид спереди горного хребта, над которым парит планер; гребень хребта показан жирной линией, подножие хребта — тонкой, путь полета планера — пунктиром, восходящий поток — стрелками. На этой схеме наглядно видно, что, летая в потоке горизонтально или набирая высоту, пилот все время держит один и тот же угол планирования — тот угол, с которым он летел бы, если бы просто планировал с горы в долину. Таким образом на этой схеме наглядно видно, что парящий полет планера есть по существу то же планирование, но только планирование в восходящем потоке, который и поднимает планер.

Из всего сказанного следует, что без наличия восходящего потока планер парить не может, иными сло-



вами, не может лететь продолжительное время. Самым важным для пилота-парителя является, следовательно, умение пользоваться потоками обтекания и не выходить из зоны потока во время рейсов над склоном. Это умение дается как опытом, так и знанием условий местности и ветра, при которых образуются потоки обтекания.

Прекрасным местом для парящих полетов на планерах в потоках обтекания является гора Клементьева (Узун-Сырт) в Крыму, вблизи Коктебеля, где происходят всесоюзные слеты планеристов (фиг. 131). Гора имеет вид гигантской плотины. Длина горы — около 5 км, ширина 300—400 м, высота над долиной около 200 м.

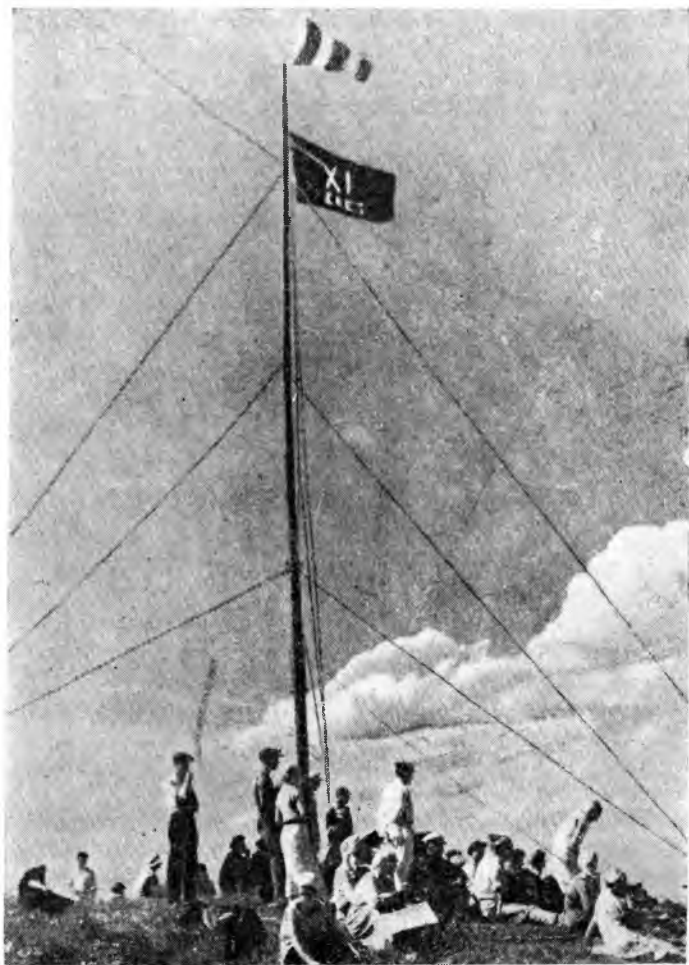
## СПУСК И ПОСАДКА НА ГОРУ

Мы видели, что, поднимаясь относительно земли, планер всегда опускается относительно воздуха. Что же должен сделать пилот, если, забрав высоту, он хочет спуститься и относительно земли, т. е. идти на посадку?

Если он хочет спускаться, не выходя из зоны потока, то ясно, что он должен увеличить угол планирования, т. е. планировать более круто. Тогда скорость снижения планера станет больше вертикальной скорости ветра, и планер будет терять высоту, т. е. снижаться и относительно земли.

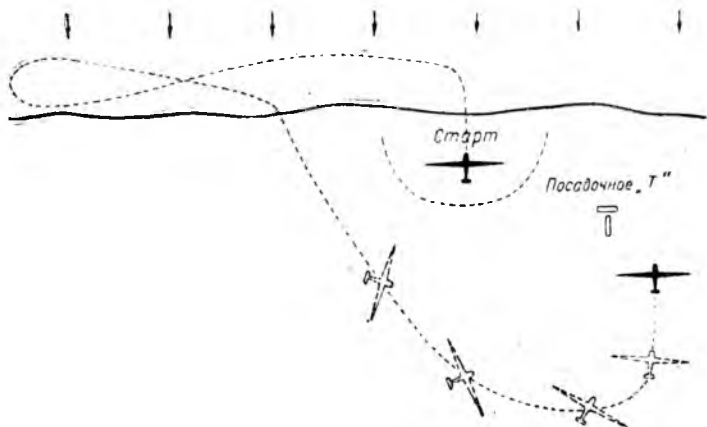
Обычно же, когда пилот хочет идти на посадку, он делает проще: он выходит из зоны потока. Выйдя из зоны потока, он продолжает планировать с тем же углом, с которым летал и в потоке; теперь он спускается с забранной им в потоке высоты совершенно так же, как если бы он планировал в спокойном воздухе, с горы в долину.

Ясно, что имея высоту, пилот легко может сесть рядом с тем местом, откуда он взлетел, т. е. рядом со стартом — на горе. Для посадки отводится место справа от старта, но, конечно, не у склона, а на некотором расстоянии от него. Посадка делается всегда



Фиг. 132. XI Всесоюзный слет планеристов. Ветроуказатель вблизи старта.

против ветра, чтобы уменьшить скорость планера при приземлении. О направлении ветра пилот судит по отклонению ветроуказателя — легкого матерчатого конуса («колбасы»), располагаемого на высокой мачте вблизи старта (фиг. 132). Кроме того на самом старте направление ветра обозначается двумя большими белыми (зимой — черными) полотнищами, выклады-



Фиг. 133. Парящий полет планера в потоках обтекания. Схема захода на посадку.

ваемыми на земле в виде буквы Т — верхней частью буквы навстречу ветру.

На фиг. 133 гора, над склоном которой парил планер, схематически изображена опять в плане, причем путь планера от момента взлета до посадки показан пунктиром. Из этой схемы видно, что пилот для совершения посадки на горе выходит из зоны потока и летит уже не над склоном, а над горой. В зависимости от той высоты, которую он набрал, он делает и расчет на посадку, заходя дальше или ближе на гору. Естественно, что на тех участках пути, на которых при спуске планер будет лететь с боковым ветром, его будет сносить в сторону от гребня, иными словами, и при спуске планер будет лететь со сносом, т. е. боком относительно земли.

Когда пилот видит, что он уже достаточно потерял высоты и оставшейся высоты хватит лишь для того, чтобы «дотянуть» (допланировать) до намеченного им места посадки, он разворачивается против ветра, руководствуясь посадочным Т. С этого момента планер спускается по прямой, без сноса, с замедленной скоростью относительно земли, что выгодно для облегчения приземления.

Если пилот хорошо рассчитал посадку и сел вблизи старта, то планер иногда доставляют на старт вручную. Чаще же пользуются лошадью и двухколесной тележкой. Тяжелые планеры иногда подвозят к старту и на четырехколесной тележке.

## ГЛАВА IX

# ПОЛЕТ НА ПЛАНЕРЕ В ТЕРМИКАХ

## ТЕРМИКИ И ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕТА В НИХ

Парящий полет в потоках обтекания, с которыми мы познакомились в предыдущей главе, возможен, следовательно, только над склонами гор подходящего рельефа и при наличии ветра определенного направления и достаточной силы. Но даже и при этих условиях планер может подниматься в лучшем случае на высоту, редко превышающую больше чем в два раза высоту горы над долиной; это объясняется, как мы видели, тем, что выше этой высоты ветер уже выравнивается, т. е. движение потока воздуха постепенно переходит на горизонтальное, обычное для ветра, направление. Таким образом в потоках обтекания невозможны высотные полеты и почти невозможны полеты на дальность, ибо очень трудно найти такую длинную и непрерывную цепь гор (холмов), которые бы имели открытые (без леса) склоны, обращенные в одну сторону.

Но дело в том, что в огромном большинстве случаев, за исключением зимних полетов при снежном покрове, к потокам обтекания присоединяются той или

иной силы термические восходящие потоки, которые и позволяют пилоту-парителю значительно легче маневрировать на его безмоторной машине и порой совершать замечательные по дальности и высоте полеты.

В гл. II уже было вкратце рассказано, как образуются термические восходящие потоки. Благодаря не-



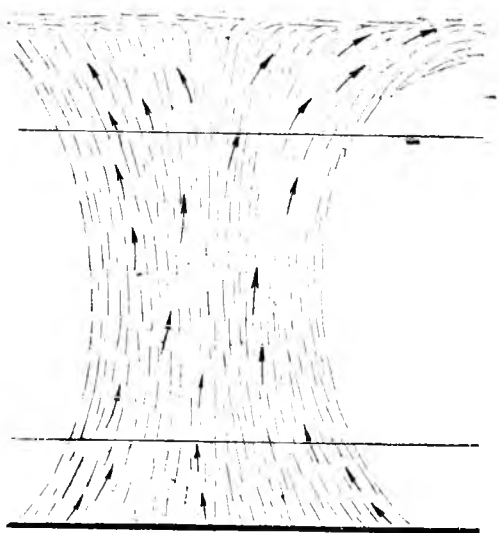
Фиг. 134. Восходящие и нисходящие токи воздуха вследствие неравномерного нагрева солнцем земной поверхности:

*A — пашня; B — лес; B — луг.*

равномерному нагреву различных участков земной поверхности (например, пашни и леса) происходит постоянная циркуляция воздушных масс: движение более теплого чем окружающие слои воздуха вверх, приток на его место с соседних участков более прохладного воздуха, который в свою очередь заменяется еще более прохладным воздухом из вышележащих слоев (фиг. 134).

Как показывают метеорологические исследования и опыт полетов на планерах, скорость восходящих токов воздуха вблизи земной поверхности незначительна и, вообще говоря, недостаточна для поддержания планера, т. е. для парящего полета на планере. Поэтому, если залустить, скажем над пашней, планер с ровного места, то пилот не сможет воспользоваться этими восходящими токами. Скорость их меньше ско-

рости снижения планера, поэтому пилот не сможет парить и тем более забирать высоту, а только спланирует на несколько большее расстояние, чем в том случае, если бы этих токов не было. Отсюда понятно, что начать парящий полет с помощью только одних термиков трудно.



Фиг. 135. Простейшая схема термического восходящего потока («термика»). В нижней и верхней частях термика скорость потока недостаточна для парения на планере.

Если наш участок достаточно велик (скажем, в несколько тысяч кв. метров) и очень сильно нагревается солнцем, то вверх поднимаются большие массы нагретого воздуха. По мере поднятия вверх в более прохладные, чем над земной поверхностью, слои атмосферы скорость этих нагретых воздушных масс увеличивается, вследствие чего создается как бы тяга, подобно тяге в печной трубе. Возникает, следовательно, вертикальный тепловой восходящий поток — термик (фиг. 135).

Скорость его возрастает, разумеется, только до некоторой высоты, а затем по мере охлаждения от соприкосновения с верхними холодными слоями воздуха поднятие вверх замедляется и дальше совсем прекращается: наступает некоторое равновесие, и массы поднявшегося воздуха начинают перемещаться горизонтально.

Описанная картина возникновения восходящих потоков дана очень упрощенно: на самом деле она много сложнее и зависит от многих причин. Географическая широта места, время года и суток, облака и влажность воздуха, рельеф и покров местности, сила и направление ветра и пр. — все это в той или иной степени влияет на образование восходящих потоков, закономерное образование которых во всей полноте еще далеко не изучено. Но для нас сейчас это не важно. Чтобы понять сущность парящего полета в термиках, достаточно иметь хотя бы общее представление об их возникновении и структуре.

На фиг. 135 дана описанная упрощенная схема термического восходящего потока. Стрелками различной величины обозначены скорости потока на разных высотах, а горизонтальными линиями условно показаны границы, внутри которых парящий полет возможен. В нижней и верхней частях потока скорость его для поддержания планера недостаточна.

Опыт парящих полетов показывает, что ниже 300—400 м в термике редко удается парить (над ровным местом); скорость поднятия воздушных масс до этой высоты, очевидно, в большинстве случаев меньше скорости снижения современных планеров. Но выше этой высоты парение в термике теперь удается очень часто, причем в зависимости от мощности термика опытный пилот-паритель может иногда забрать 3 000 и 4 000 м.

Итак, высота термика может достигать нескольких километров, ширина термика, как показывает опыт, очень различна. Если термик «узкий» (скажем, в несколько десятков метров), то пилот легко теряет его, т. е. выходит из него, и планер начинает снижаться. Если ширина термика достигает сотен метров, то ис-

пользоваться его, конечно, легче. Чтобы не потерять термика, пилот часто кружит над тем местом, где его лучше «держит». Поэтому же, вероятно, кружат и орлы, ястребы и другие птицы, когда они парят в вышине на неподвижных крыльях.

Повторяем еще раз, что действительная картина термических восходящих потоков много сложнее описанной нами и схематически изображенной на фиг. 135. Восходящие потоки часто чередуются с нисходящими; кроме того воздушные массы перемещаются и горизонтально (ветер); на разных высотах ветры часто дуют по разным направлениям и с различными скоростями. Таким образом над данным участком земной поверхности, как и над всяким другим, происходит постоянное перемешивание воздушных масс. Поэтому и структура термиков не имеет каких-то определенных форм, ибо размеры, высота и скорость потоков постоянно меняются. Опыт парящих полетов показывает, например, что над одним и тем же местом на высоте, скажем, 800 м хорошо «держит», на высоте 1 000 м «не держит», а еще выше опять «держит». Бывает и так, например, что на высоте, на которой «держало», через несколько минут уже «не держит», и, наоборот, там, где несколько минут назад планер снижался, теперь пилот обнаруживает мощный восходящий поток.

Как же пользоваться термиками, раз у земли их скорость обычно недостаточна для парения, т. е. каким образом пилот на своем планере может забраться на ту высоту, на которой он может парить в термике? Это возможно иногда с помощью потоков обтекания.

На фиг. 136 схематически изображены горный склон и часть долины, земной покров которой благоприятен для возникновения термиков. Планер, взлетев с вершины горы, набирает высоту над склоном, как описывалось в предыдущей главе. Если метеорологические условия вообще благоприятны для возникновения термиков, то и над склоном восходящий поток будет теперь более мощным, чем в том случае, если бы имелись лишь одни потоки обтекания. Таким



образом при помощи потоков обтекания, усиленных термиками, пилот уже над склоном сможет набрать значительную высоту. Пусть, скажем, ему удастся набрать над склоном 400—600 м. Что он будет делать дальше?

Если пилот предполагает, что при данной метеорологической обстановке в окрестностях возможны мощные термики, то он, пользуясь тем, что высота у него значительна, уходит от склона по тому направлению, в котором надеется найти мощный поток. В зависимости от запаса высоты он может уйти от склона на несколько километров без риска сесть в долину. Если его поиски оказываются безуспешными, и над долиной его начинают снижать, он возвращается к склону. Набрав здесь снова высоту (если потерял ее во время разведки), он снова уходит от склона по другому направлению. На образном языке планеристов это называется «щупать» термики.

На фиг. 136 схематически показан полет шести планеров, из которых три парят над склоном и три над долиной, причем из этих последних один нашел термик и уже набрал большую высоту, другой только что, как говорят планеристы, «оторвался» от горы, т. е. вышел из зоны потока обтекания и пока без потери высоты идет по тому направлению, в котором полетел его удачливый товарищ, а третий, полетевший по другому направлению, не нашел термика, потерял над долиной высоту и теперь, чтобы не сесть в долину, вынужден вернуться обратно к склону — в зону потоков обтекания. Если допустить, что высота горы, изображенной на схеме, около 150 м над долиной, то наиболее удачливый из наших пилотов находится уже на высоте около 1 000 м. Имея такую высоту, наш пилот в поисках еще более мощных термиков может уже смелее уходить от горы на значительное расстояние; в случае неудачи он с этой высоты может опять вернуться к склону, ибо с 1 000 м на хорошем планере можно спланировать на 20—25 км, а по ветру — еще больше (против ветра, конечно, меньше). Разумеется, если пилот слишком увлечется и во время своей рекогносцировки уйдет слишком



Фиг. 136. Схема парящего полета планеров в потоках обтекания усиленных термиками.

далеко от горы или, попав где-нибудь в нисходящий поток, быстро потеряет много высоты, то он может и не успеть спланировать к старту и сядет в нескольких километрах от него. В таком случае неудачливому пилоту посылают тележку и лошадей или автомобиль, и планер, часто в разобранном виде, возвращается «домой» уже по земле.

На нашей схеме показаны еще кучевые облака. Они находятся выше, чем наиболее удачливый из пилотов. В зависимости от высоты, местонахождения и характера этих облаков пилот, желая забрать еще большую высоту, попытается прежде всего, как говорят планеристы, «подтянуться» к этим облакам. Зачем же это нужно?

Сейчас мы увидим, что кучевые облака часто могут сослужить большую службу как для высотного полета, так и для полета на дальность.

## ТЕРМИКИ КУЧЕВЫХ ОБЛАКОВ

Читатель, вероятно, знает, какие облака называются кучевыми (фиг. 137).

Это те самые облака, которые часто появляются на небесном своде в теплые летние дни часам к 8—10 утра в виде легких светлых хлопьев. К полудню и особенно в послеполуденные часы эти маленькие облачка увеличиваются, уплотняются, принимают часто куполообразную форму нередко замечательно красивых и фантастических очертаний и самых разнообразных оттенков. Оставаясь обычно в виде отдельных облаков, они иногда настолько густо плывут по небу, что сливаются на горизонте в сплошные гряды, очень похожие на горные цепи. К вечеру кучевые облака обычно бесследно исчезают с небесного свода. Если же остаются на ночь, то это часто служит признаком изменения погоды.

Чем же могут помочь пилоту-парителю кучевые облака? Чтобы понять это, надо посмотреть, как они образуются.

Воздух у земли всегда содержит в той или иной

степени водяные пары. Следовательно, если нагретый у земли воздух поднимается вверх, то вместе с ним поднимаются и водяные пары. Если содержание их в воздухе достаточно, то на некоторой высоте, на которой поднявшийся теплый воздух попадает в холодные слои воздуха, водяные пары, охлаждаясь, спускаются (конденсируются) настолько,



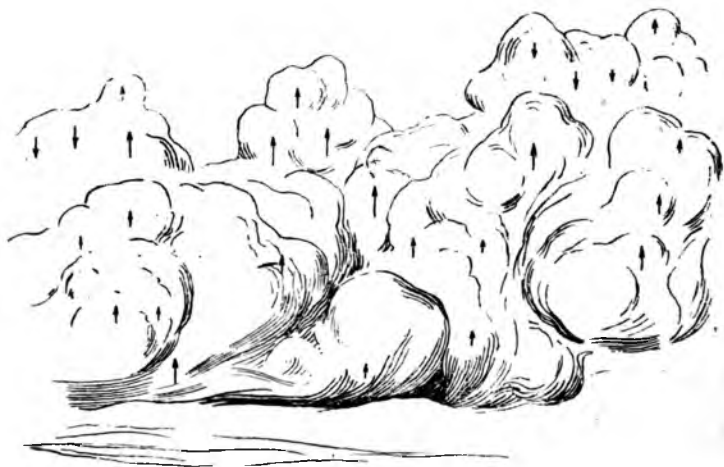
Фиг. 137. Кучевые облака.

что превращаются в мельчайшие водяные капли, которые образуют кучевое облако. Чем больше содержит поднимающийся с земли теплый воздух водяных паров, тем на меньшей высоте образуется кучевое облако и тем энергичнее оно развивается. В середине дня, когда солнце сильно прогреет землю, испарение влаги происходит очень энергично, и сильно нагретый воздух уносит вверх больше водяных паров, чем, например, утром, почему кучевые облака и достигают наибольшего развития в дневные часы. От температуры воздуха и от количества водяных паров зависит и высота, на которой образуются кучевые облака. Обычно они возникают на высоте в несколько сот метров (700—800), но при этом само облако распространяется вверх еще на несколько сот метров, достигая иногда по высоте 1000 и больше

метров. Именно поэтому эти облака и называются кучевыми (от слова куча).

Но почему же развитие облака происходит так энергично в вертикальном направлении?

Дело в том, что при конденсации водяных паров выделившаяся влага передает окружающему воздуху значительное количество так называемого скрытого



Фиг. 138. Схема кучевого облака. Восходящие и нисходящие токи в облаке.

тепла. Это тепло и дает сильный толчок к поднятию вверх облачных масс. Таким образом при известных условиях в кучавом облаке возникают сильные восходящие токи воздуха, которые, чередуясь иногда с нисходящими (но их обычно меньше), и создают вихри, благодаря которым кучевые облака иногда очень быстро, буквально на глазах, меняют свою форму.

На фиг. 138 схематически изображено кучевое облако и стрелками обозначены восходящие и нисходящие токи внутри облака, причем величина стрелок показывает скорости этих воздушных токов; скорости эти в различных местах облака бывают различны. Мы видим из этой схемы, что преобладаю-

щие токи в кучевом облаке — восходящие. Вот это очень важно для нас. Ведь ясно, что если пилот-паритель залетит на своей машине в такое облако, то при достаточной мощности этих восходящих токов и при достаточном искусстве пилота последний может набрать в облаке значительную высоту.

Итак, в кучевом облаке очень часто имеется восходящее течение воздуха. Опыт парящих полетов на планерах показывает также, что восходящие токи воздуха часто имеются и под облаком и около него, а иногда и над ним. Это и понятно, так как при наличии в облаке восходящих токов происходит, естественно, подсасывание воздушных масс снизу — из-под облака, а также и с боков его. Вот эти восходящие течения под облаком и около него особенно удобны для использования их в полете на планере.

Само собой разумеется, что восходящие потоки около кучевых облаков (и в них) являются тоже термиками, ибо, как мы видели, они тоже термического (теплового) происхождения.

## **ПОЛЕТ В ТЕРМИКАХ И С ОБЛАКАМИ**

Выше мы говорили, как поступает пилот-паритель, когда с потоков обтекания он хочет перейти на термическое парение и, в частности, «подобраться» к облаку. Это ему часто удается, но все же такой полет иногда и не дает интересных результатов. Дело в том, что набор высоты в потоках обтекания происходит сравнительно медленно и немало времени уходит на поиски термика нужной силы. Тем временем метеорологическая обстановка, казавшаяся при старте благоприятной для термического парения (например, наличие подходящих облаков), может измениться. Поэтому для полета с термиками и с облаками начинают полет обычно не с потоков обтекания, а путем забуксирования планера на некоторую высоту.

Таким образом, если опыт пилота-парителя говорит ему, что в данное время есть благоприятные

условия для термического парения, то он стартует на буксире самолета, быстро набирает высоту 800—1000 м, затем отцепляется и, руководствуясь, с одной стороны, своим опытом, а с другой, — показаниями вариометра, осуществляет парящий полет в соответствии с теми задачами, которые он себе поставил (полет на высоту или на дальность).

Опыт последних лет показывает, что полет на планере на высоту и на дальность возможен иногда и без облаков, при чистом небе, при наличии, конечно, мощных термиков. Такой полет возможен в теплое время года над степью, над значительными песчаными пространствами, над открытыми берегами рек и т. д. Чаше же при полете на дальность пилот-паритель пользуется облаками. Возможно, как мы увидим дальше, и комбинированное пользование термиками, облаками, а в некоторых случаях даже и потоками обтекания.

Как только пилот-паритель отцепился от самолета-буксировщика, он стремится как можно больше набрать высоты. Это очень важно и при полете на дальность. Во-первых, с большой высоты, скажем, с 3 000 м современный планер может без всяких термиков спланировать почти на 100 км, а по ветру — и больше; кроме того большая высота позволяет пилоту-парителю легче маневрировать в поисках термиков (или облаков) на маршруте и тем сильно увеличивает шансы на успех полета на дальность.

Если пилоту посчастливится найти такой мощный термик, который и без облака может поднять его на большую высоту, то он использует этот термик. Если же это ему не удастся, то он старается использовать термики кучевых облаков.

Если под облаком имеется достаточно мощный термик, то пилот пытается набирать высоту, летая около облака (фиг. 139). Если же здесь восходящие токи не очень сильны, он может попытаться найти их, влетев в облако. Полет в облаке, конечно, труден, так как является «слепым» полетом, т. е. полетом, при котором для сохранения равновесия, направления полета и нужного угла планирования пи-

лот может пользоваться только приборами. Он тем более труден потому, что в облаке вследствие вихрей машину сильно «болтает»; это не только затрудняет управление, но и требует, чтобы планер был очень прочен и не сломался от резких бросков вверх и вниз. Наконец, особенно труден набор высоты в облаке, так как для этого пилот, чтобы не выйти из



Фиг. 139. Парение около кучевого облака и в облаке.

облака, должен все время кружить (поднимаясь вверх спиралью), а это, конечно, нелегко при полете только по приборам.

Не нужно думать, что каждое кучевое облако можно использовать для парения на планере. Это удастся далеко не всегда по той причине, что наличие восходящих потоков около облака вовсе не обязательно и тем более таких, скорость которых была бы больше скорости снижения планера. Большое значение для парения около облаков имеют: горный рельеф местности (причем важно, чтобы горы и долины между ними имели поменьше растительности), сильный нагрев солнцем земной поверхности, время дня (именно — вторая половина дня), высота кучевых облаков, скорость и направление ветра, температура воздуха и ряд других факторов.



Из сказанного выше понятно, что отдельные кучевые облака пилот-паритель может использовать для высотного полета. Но использовать отдельное облако для полета на дальность значительно труднее. Правда, набрав при благоприятных условиях, скажем, тысячи две метров, пилот может с этой высоты спланировать в желаемом направлении на несколько десятков километров. Но это наименее интересный вид полета на дальность.

Вторым видом полета на дальность является полет в потоках обтекания вдоль длинной гряды холмов или гор, имеющих подходящие склоны в одну сторону. Но, как указывалось в предыдущей главе, такой полет удастся редко, так как трудно найти непрерывную цепь холмов (гор), имеющих голые склоны в одном направлении. Так как при полете в потоках обтекания пилот не может набрать большой высоты, то над долинами или над холмами, у которых нет подходящего склона в сторону дующего в данное время ветра, он теряет высоту и если не сможет «дотянуть» до следующего подходящего склона вынужден будет снизиться. Тем не менее иногда и в потоках обтекания удастся совершать полеты на расстояние в несколько десятков километров.

Третьим видом полета на дальность является полет над цепью гор, но при комбинированном использовании потоками обтекания, термиками и отдельными кучевыми облаками. Схема такого полета дана на фиг. 140. Мы видим, что пилот, набрав после старта над горой некоторую высоту (несколько сот метров), летит вдоль цепи холмов, временами теряя высоту и снова набирая; затем, воспользовавшись значительной высотой, набранной над одним из высоких холмов в потоках обтекания, усиленных термиками, он удачно подтягивается к кучевому облаку и набирает здесь большую высоту. Имея в запасе много высоты, он, постепенно теряя ее, легко перелетает через несколько долин и низких холмов, которые он не смог бы перелететь, если бы не набрал высоты при помощи облака. Затем, потеряв всю высоту во время полета без восхо-

дящих потоков, он подлетает к холму, где имеются достаточно мощные потоки обтекания, здесь снова набирает некоторую высоту, опять подтягивается к облаку, набирает высоту и благодаря этому снова пересекает долину, над которой нет восходящих потоков.

Четвертым видом полета на дальность является полет с облачным фронтом.

Дело в том, что при некоторых условиях отдельные кучевые облака соединяются в длинные гряды, тянущиеся иногда на сотни километров. Это особенно часто можно наблюдать в горных местностях, над морским побережьем, над руслами рек и т. д. Вследствие возникающих здесь местных ветров (вспомните морские бризы!), дующих иногда в противоположных дальним ветрам, а также сильных вертикальных воздушных течений (т. е. термиков), кучевые облака нередко подолгу застай-



Фиг. 140. Схема парящего полета на дальность при комбинированном использовании потоками обтекания, термиками и кучевыми облаками.

ваются, почти не продвигаясь вперед и только постоянно меняя свои размеры и форму под действием вихревых движений воздуха. Наибольшего развития эти облачные массы, как и отдельные кучевые облака, достигают, разумеется, во второй половине дня.

При паличии восходящих потоков около такой облачной гряды пилот-паритель летит вдоль нее, как вдоль фронта; поэтому такие скопления кучевых облаков, тянущихся с небольшими перерывами на сотни километров, планеристы и называют облачным фронтом. Парящий полет с облачным фронтом напоминает полет над горой с той, конечно, разницей, что вдоль горного склона планер летит в потоках обтекания, а вдоль облачного фронта — в термических потоках. Такой полет является одним из интереснейших видов полета на дальность. Разумеется, что полет с облачным фронтом может дать наибольший эффект в том случае, когда облака тянутся над горной цепью, ибо тогда пилот может пользоваться в случае надобности и потоками обтекания.

Пятым видом полета на дальность является полет с грозовым фронтом.

О нем мы расскажем отдельно.

## ПОЛЕТ С ГРОЗОВЫМ ФРОНТОМ

Обычно картина грозы бывает следующая.

Очень темное плотное облако, имеющее грозный вид, быстро приближается, ветер быстро усиливается, и, сопровождаемый молнией и громом, выпадает дождь (или крупа, град), обычно в виде сильного, но непродолжительного ливня (фиг. 141).

Такое же явление, но без электрических разрядов, называется шквалом.

Как же возникают грозы и шквалы?

Если в течение нескольких дней земная поверхность нагревается солнечными лучами, то температура воздуха у земли сильно повышается и становится значительно более высокой, чем у вышележащих слоев воздуха. Следствием этого часто является

интенсивное развитие кучевых облаков — как по площади, так и по высоте. Постепенно кучевые облака переходят в кучево-грозовые, напоминающие огромные горы с белоснежными вершинами и свинцово-темными основаниями, причем в высоту (т. е. от основания до вершины) такие облака достигают иногда нескольких тысяч метров, что является следствием мощных восходящих потоков внутри облака.



Фиг. 141. Схема грозового облака, перед фронтом которого парит планер.

Отдельные облака соединяются между собой и, превращаясь в сплошную темную тучу, дают явление грозы или шквала. Такая туча надвигается обычно широким фронтом, имеющим в длину несколько десятков километров и заволакивающим поэтому весь горизонт. Но по линии движения ширина тучи обычно всего несколько километров, вследствие чего гроза обычно проходит очень быстро, тем более что скорость движения тучи в среднем не меньше 30—40 км/час.

Выше было сказано, что в грозовом облаке восходящие потоки воздуха еще более сильны, чем в кучевом облаке. Поэтому подсасывание снизу нагретых воздушных масс здесь особенно интенсивно. А так как грозовая туча обычно идет сравнительно низко над землей, то область подсасывания распространяется до самой земли. Таким образом развившийся в самом облаке мощный восходящий поток с силой втягивает в себя воздушные массы от земной поверхности в передней части облака. Иными

словами, перед фронтом грозы происходит непрерывный энергичный подъем воздушных масс, скорость которого достигает иногда 7—8 м/сек.

Ясно, следовательно, что если при приближении грозового фронта планер, забуксированный на высоту самолетом, окажется перед фронтом тучи, т. е. впереди нее и на одной высоте с ней, то он сможет легко парить, летая перед фронтом. Так как туча быстро двигается вперед, то и планер, летая перед ней, будет двигаться вперед с той скоростью, с какой идет туча.

На фиг. 141 дан поперечный разрез грозового облака, перед фронтом которого парит планер, причем горизонтальной стрелкой (слева) показано направление движения облака, а стрелки вверх показывают восходящие токи в передней части облака и перед его фронтом; косыми тонкими линиями показан дождь.

Полет с грозовым фронтом теперь уже нередкое явление. Полет с грозовым фронтом требует большого искусства и опыта от пилота, планер же должен быть особенно прочным и надежным.

## ГЛАВА X

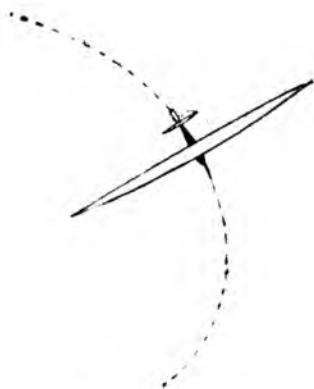
# ФИГУРНЫЕ ПОЛЕТЫ НА ПЛАНЕРЕ

## ВИРАЖ, СПИРАЛЬ, СКОЛЬЖЕНИЕ НА КРЫЛО И ПИКИРОВАНИЕ

Итак, мы теперь знаем, каким образом на планере — безмоторном аппарате тяжелее воздуха — удастся лететь помногу часов подряд, подниматься на огромную высоту и пролетать большие расстояния. Мы знаем также, что пилот-паритель управляет своей машиной тем же способом, что и летчик самолетом, с помощью тех же органов управления и может летать не только по прямой, но и с разворотами, легко сохраняя равновесие и устойчивость аппарата. Из сказанного ясно, что на планере, как

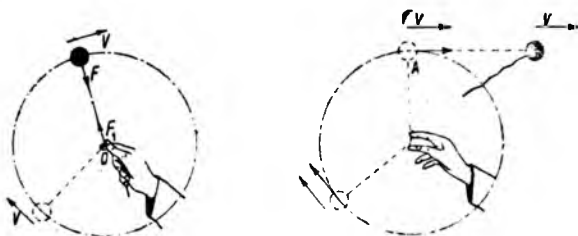
и на самолете, можно проделывать в воздухе различные эволюции и фигуры, которые важны не только с точки зрения совершенствования искусства пилота, но с которыми ему приходится иметь дело и на практике в тех или иных условиях полета.

**Вираж** — это поворот с креном по кривой небольшого радиуса (фиг. 142). Из предыдущего мы уже знаем, что крен дается в сторону поворота; крен необходим для того, чтобы получить достаточной величины центробежную силу. Что это за сила?



Фиг. 142. Вираж планера.

Если привязать к нитке камень и быстро вращать его, то нитка натянется и камень будет описывать круги (фиг. 143). Движение по кривой, в данном случае по окружности, возможно только при нали

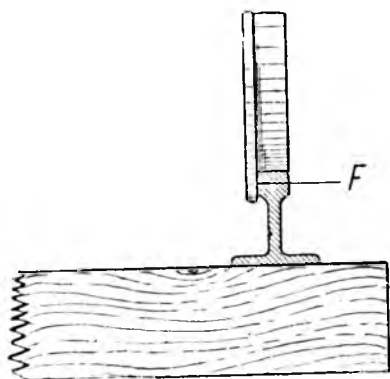


Фиг. 143. Движение камня по окружности возможно только при наличии силы, отклоняющей камень от прямолинейного пути.

ции силы, отклоняющей тело (камень) от прямолинейного движения. Какая же сила заставляет камень двигаться по окружности?

Очевидно, сила нашей руки, которая переда-

ваясь через нитку, к камню, удерживает его от удаления от центра вращения. Если нитку вдруг пережечь (или если она разорвется сама), то передача силы от руки к камню прекратится и мы увидим, что камень, начиная с этого момента, полетит прямолинейно по направлению касательной к окружности в той точке, в которой произошел отрыв от читки. Сила, с которой наша рука действует



Фиг. 144. Движение вагона на закруглении. На закруглении рельсы оказывают боковое давление  $F$  на реборды колеса. Это давление и есть центростремительная сила, необходимая для движения по кривой.

на камень и заставляет его вращаться вокруг определенного центра, называется центростремительной силой. Без наличия центростремительной силы вращение по окружности и вообще движение по кривой невозможно. Всякий раз, когда мы видим, что тело движется не по прямой линии, а по кривой, мы можем быть уверены, что имеется определенная центростремительная сила, с которой на рассматриваемое тело

действует какое-то другое тело.

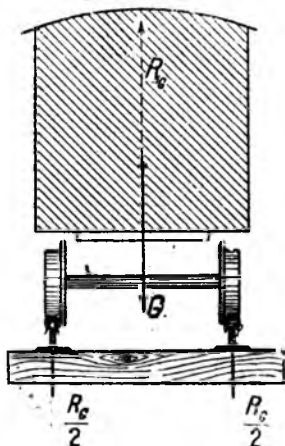
Рассмотрим, например, движение железнодорожного вагона на закруглении. Что заставляет вагон отклоняться от прямолинейного движения? Очевидно, какое-то другое тело, которое действует на вагон с определенной центростремительной силой. Но что это за тело? Вообразим, что у колес вагона, движущихся по внешнему рельсу, внезапно оторвались реборды (закрайны обода, которые удерживают колесо от схода с рельса). Тогда вагон немедленно сойдет с рельсов и по инерции начнет двигаться

прямолинейно, совершенно так же, как камень, оторвавшийся от веревки. Значит, для движения вагона по закруглению реборды колес имеют какое-то существенное значение. Посмотрим, в чем здесь дело. Вступая на закругление, вагон начинает давить ребордами внешних колес на рельсы; рельсы «отвечают» этому давлению противодействием — начинают с такой же силой давить на реборды колеса (рис. 144) и тем самым не позволяют вагону продолжать движение по прямой.

Давление рельса на реборды колеса, или, как говорят, реакция рельса, и есть та центростремительная сила, которая заставляет двигаться вагон по закруглению. Давление же колеса на рельс называется центробежной силой. Эта сила является силой инерции. Она по величине равна центростремительной силе, но направлена в противоположную сторону.

Однако такое боковое давление головки рельса на реборды колес и колеса на рельс нежелательно так как, во-первых, ведет к взаимному истиранию рельса и колес, а во-вторых, при большой скорости поворота или при крутом повороте грозит сходом вагона с рельсов (вагон по инерции стремится соскользнуть во внешнюю сторону кривой). Посмотрим, как можно избежать такого бокового давления и тем не менее получить необходимую центростремительную силу.

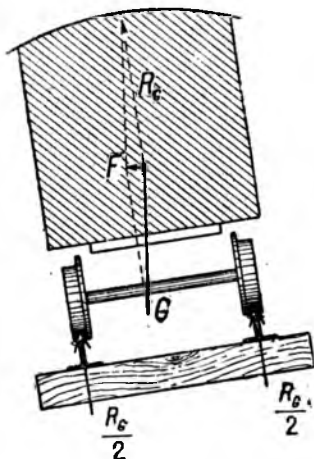
Известно, что реакция рельса состоит не только из бокового давления на колесо, но и из так называемого нормального давления  $\frac{R_g}{2}$ , направленного



Фиг. 145. Движение вагона на прямом участке пути. Давление рельсов на колеса вагона равно весу вагона, но направлено снизу вверх.



перпендикулярно к поверхности головки рельса, следовательно, вертикально вверх. Эта реакция обусловлена весом вагона и приложена к обоим колесам. Равнодействующая этих двух реакций пройдет через центр тяжести вагона, к которому приложен также и вес вагона (фиг. 145). Посмотрим, что произойдет, если внешний рельс приподнять над внутренним,



Фиг. 146. Движение вагона на закруглении. При наклоне ж.-д. полотна реакция рельсов будет наклонной и даст вместе с силой веса равнодействующую  $F$ , направленную внутрь поворота, так называемую центростремительную силу.

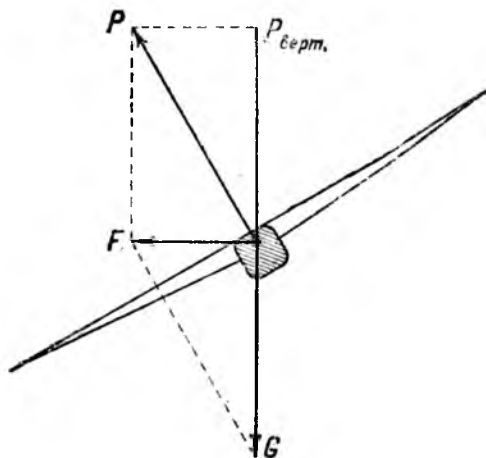
центростремительной силой. Величина наклона зависит от скорости движения и радиуса закругления.

При отклонении от расчетной скорости боковое давление опять появится, но во всяком случае оно будет меньше, чем при отсутствии наклона пути. На железных дорогах этот наклон обычно рассчитывается для средней скорости движения на данном закруглении.

После всего сказанного нам будет понятно, почему

т. е. иными словами сделать на закруглении основание пути наклонным в сторону поворота. Тогда вагон на закруглении немного накренился и нормальная реакция рельсов  $R_g$  будет уже направлена не вертикально вверх, а под углом и даст вместе с весом  $G$  равнодействующую  $F$ , направленную внутрь поворота (фиг. 146). В результате появления при крене этой силы боковое давление внешнего колеса на рельс делается меньше, а при определенном наклоне ж.-д. полотна и совсем исчезнет. Поворот вагона будет совершаться под действием равнодействующей нормальной реакции и веса вагона. Эта равнодействующая (фиг. 146) и будет

необходим крен при вираже. Внешним телом, которое создает при отклонении рулей центростремительную силу, действующую на планер, является воздух. Воздух здесь играет роль рельсов в примере с вагоном. Но эти рельсы чрезвычайно податливы и руля поворотов, который играет здесь роль реборд колес, недостаточно, чтобы предотвра-

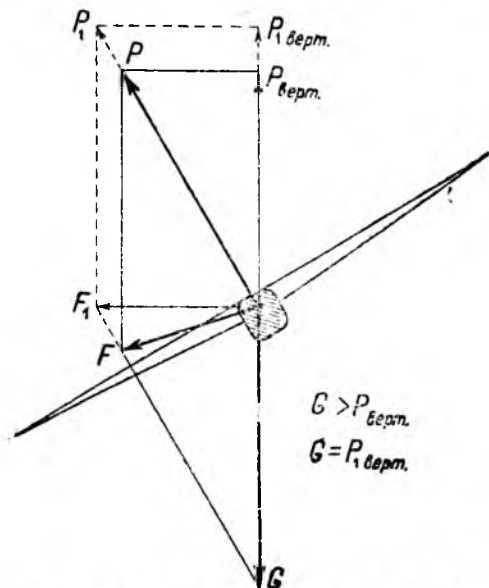


Фиг. 147. Виращ планера. При крене планера равнодействующая  $F$  наклонной подъемной силы  $P$  и веса  $G$  является центростремительной силой.

тить «сход с рельсов» т. е. в данном случае — скольжение во внешнюю сторону кривой (что происходит, напомним, вследствие инерции). Если же планер при вираже наклонить (фиг. 147), то произойдет то же самое, что при крене вагона на закруглении. Равнодействующая  $F$  подъемной силы (т. е. реакции воздуха)  $P$  и веса планера  $G$  будет направлена внутрь кривой. Эта равнодействующая и будет центростремительной силой  $F$ . Как видно из чертежа, эта сила является горизонтальной составляющей подъемной силы  $P$ .

Если крен сделать очень крутым, не увеличивая

при этом скорости и угла атаки. т. е. не увеличивая подъемной силы  $P$  (фиг. 148), то она даст вместе с силой тяжести равнодействующую  $F$ , направленную уже не горизонтально, а под углом вниз, внутрь кривой. Планер при повороте начнет скользить вниз на внут-



Фиг. 148. Вираж планера. Чем круче крен, тем больше должна быть при правильном вираже подъемная сила, т. е. должна быть увеличена скорость полета или увеличен угол атаки.

реннее крыло, и при этом будет терять высоту. Последнее ясно также из следующих рассуждений. Мы знаем, что при планировании по прямой общая сила сопротивления воздуха уравнивает силу тяжести (см фиг. 59). Обе эти силы находятся в одной плоскости — плоскости симметрии планера. На вираже, как мы видим, эти силы ( $P$  и  $G$  на фиг. 147) не уравнивают одна другую, так как сила сопротивления воздуха  $P$  наклонена и силу тяжести

уравновешивает лишь вертикальная составляющая силы  $P$  именно сила  $P_{\text{верт}}$ .

При очень крутом крене (фиг. 148)  $P_{\text{верт}}$  будет меньше силы тяжести  $G$ , и планер будет терять высоту. Отсюда же следует, что при более крутом ви-

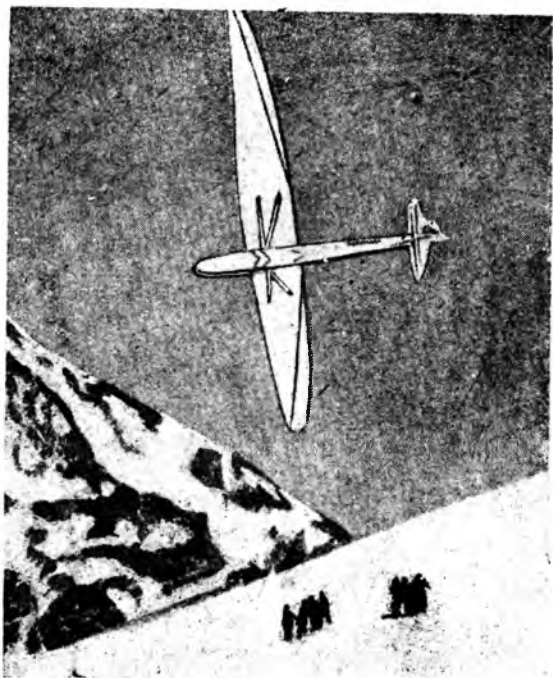


Фиг. 149. Вираж планера.

раже необходимо или увеличить скорость полета так, чтобы вертикальная составляющая подъемной силы  $P_{\text{верт}}$  увеличилась до  $P_{1\text{ верт}}$ , т. е. стала бы равна силе тяжести  $G$ , или же увеличить угол атаки планера так, чтобы получить такое же увеличение подъемной

силы (напоминаем, что угол атаки можно увеличивать лишь до известного предела, иначе планер может сорваться в штопор).

Центростремительная сила, необходимая для выполнения виража, зависит от массы (веса) тела, от

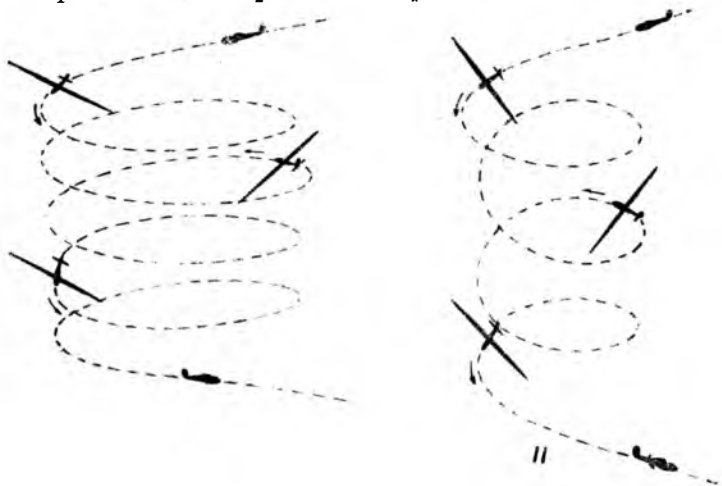


Фиг. 150. Крутой вираж планера.

скорости вращения и от радиуса вращения; именно: чем больше масса тела, чем больше скорость движения по кривой и чем меньше радиус вращения, тем больше должна быть центростремительная сила. Из рассмотрения фиг. 148 ясно, что чем меньше будет радиус поворота, а следовательно, чем больше должна быть величина центростремительной силы, тем больший креп необходимо придать планеру.

При правильном вираже крен и скорость движения планера (а следовательно и величина подъемной силы  $P$  — см. фиг. 148) должны быть таковы, чтобы центробежная сила  $F_c$  была направлена горизонтально.

При правильном вираже самолет с работающим мотором высоты не теряет, планер же, понятно, будет снижаться относительно воздуха, как он снижается и при полете по прямой (см. фиг. 60).



Фиг. 151. Спираль I — пологая, II — крутая.

Как управляет пилот планером на вираже (фиг. 149), не будем повторять, потому что об этом уже было сказано, когда шла речь о полете с разворотами. Напомним только, что вираж, особенно крутой вираж (фиг. 150), требует от пилота очень точных и строго координированных движений ручкой и ножным рычагом.

Если пилот при снижении делает продолжительный вираж, т. е. летает по кругу, то планер делает фигуру, которая называется спиралью (фиг. 151). Если радиус спирали не очень мал, то спираль называется пологой (фиг. 151, I), если радиус очень мал, то спираль называется крутой (фиг. 151, II).

Если пилот накренил планер в полете по прямой и будет с помощью рулей удерживать планер в этом положении, то подъемная сила (вернее, ее вертикальная составляющая) крыльев уменьшится и планер, замедлив движение вперед, будет скользить в сто-



Фиг. 152. Пикирование.

ропу крена. Такой вид полета называется скольжением на крыло. При скольжении на крыло планер значительно быстрее снижается, чем при обычном планировании, причем, как сказано, он в это время будет мало продвигаться вперед. Поэтому скольжением на крыло пилот пользуется тогда, когда нужно над каким-нибудь пунктом быстро потерять высоту.

В этом иногда встречается надобность, например, при расчете на посадку.

Если пилот сильно увеличит угол планирования или даже будет планировать под углом  $90^\circ$ , то та-

кой вид полета называется **пикированием** (фиг. 152). При пикировании подъемная сила крыльев незначительна, и скорость планера под действием силы тяжести сильно возрастает, отчего планер очень быстро снижается.

Скольжение на крыло и пикирование по существу не являются фигурами, но часто составляют (особенно пикирование) часть той или иной фигуры.

## **МЕРТВАЯ ПЕТЛЯ И ПЕРЕВОРОТ ЧЕРЕЗ КРЫЛО**

Если взять ведро, полное воды, привязать к нему бечевку и быстро вращать его в вертикальной плоскости, то вода из ведерка не выльется благодаря действию центробежной силы, которая, будучи всегда направлена от центра вращения к окружности, прижимает воду к доньшку ведерка. Благодаря центробежной силе на планере, как и на самолете, можно описать в вертикальной плоскости петлю, которая вошла в практику летания под названием **мертвой петли**.

Чтобы сделать петлю, надо дать машине разгон. На самолете разгон достигается тем, что пилот летит несколько секунд на полных оборотах мотора с небольшим снижением. На планере нет мотора и пилот может сделать разгон, т. е. увеличить скорость планирования только благодаря увеличению угла планирования. Скорость, которая необходима для того, чтобы петля удалась, должна быть примерно в два раза больше нормальной. Таким образом, если скорость планирования планера при нормальном угле планирования, скажем  $60 \text{ км/час}$ , то на петлю надо разогнать планер до скорости  $100\text{—}120 \text{ км/час}$ .

Как выполняется мертвая петля на планере? Имея достаточный запас высоты (несколько сот метров), пилот сильно увеличивает угол планирования и несколько секунд (две — три) пикирует, следя за указателем скорости (фиг. 153); когда скорость увеличивается почти в два раза в сравнении с нормальной,



он энергично, но плавно берет ручку на себя; под действием отклоненного вверх руля высоты планер взмывает «свечкой» вверх и описывает петлю.

Когда планер перейдет верхнюю точку петли, пилот начинает постепенно «отдавать» ручку, планер



Фиг. 153. Схема мертвой петли.

переходит в пикирование, из которого пилот плавно переводит его в нормальное планирование.

Почему же для петли нужен разгон, т. е. большая начальная скорость?

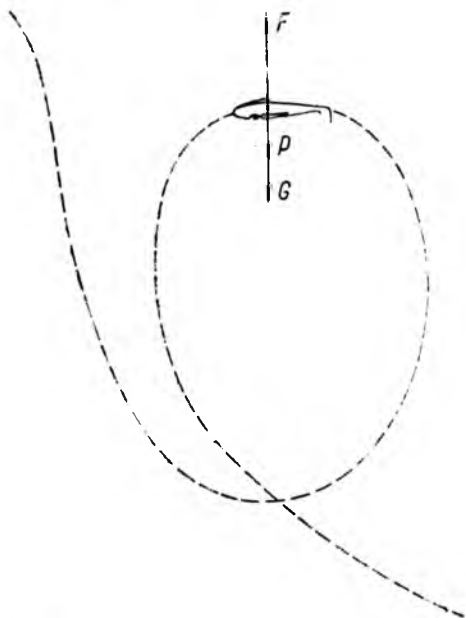
Она нужна для того, чтобы планер в верхней части петли обладал бы еще достаточной скоростью, в противном случае он свалится на хвост или на крыло, не дойдя до вершины петли.

Какие силы действуют на планер в верхней части петли? На фиг. 153-а мы видим, что в верхней части петли на планер действуют сила тяжести  $G$  и подъемная сила  $P$ , направленные обе книзу. Центробежная сила  $F$  направлена, как мы знаем, от центра к окружности и всегда будет равна сумме двух сил  $G$  и  $P$ .

Если есть достаточный запас высоты, позволяющий получить достаточный разгон планера, то пилот может сделать несколько петель подряд.

На планере, как и на самолете, пилот всегда привязывается к сиденью поясным ремнем. Для петли, да и вообще для фигурного полета он привязывается

еще и плечевыми ремнями. Правда, при правильной петле пилот не выпадет из планера, даже если вовсе не будет привязан, потому что он будет прижиматься к сидению вследствие появления центробежной силы (вспомните воду в ведерке!).



Фиг. 153-а. Схема сил, действующих на планер в верхней точке петли.

При н е п р а в и л ь н о й петле, когда разгон планера окажется недостаточным, планер в верхней части петли начинает парашютировать, оставаясь вверх колесами, угол атаки становится сильно отрицательным и подъемная сила вместо того, чтобы действовать так, как указано на фиг. 153-а, станет действовать в обратном направлении (т. е. снизу вверх).

Что почувствует при этом пилот?

Вследствие изменения направления подъемной

силы, приложенной к крыльям планера и действующей снизу вверх, тело пилота будет стремиться выпасть из машины, и пилот вниз головой повиснет на ремнях. Разумеется, это неприятное положение будет продолжаться только одно мгновение, так как пилот



Фиг. 154. Переворот через крыло.

тотчас же переводит машину в пикирование, а затем в нормальное планирование<sup>1</sup>.

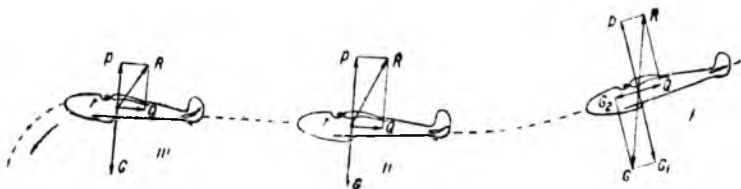
Переворотом через крыло называется такая фигура, когда планер после небольшого разгона переворачивается через крыло «на спину», затем падает на нос, т. е. переходит в пикирование (фиг. 154), а затем в нормальное планирование. Мы видим, что после переворота планер летит в направлении, обратном тому, в котором летел до переворота, тогда как после петли он выходит в том же направлении.

## ПОТЕРЯ СКОРОСТИ И ШТОПОР

Потеря скорости по существу является не фигурой, а очень важным явлением, тесно связан-

<sup>1</sup> Явление мертвой петли рассмотрено здесь так, как оно представляется пилоту, находящемуся в планере,

ным с некоторыми фигурами, в частности со штопором, и имеющим большое значение вообще в практике полета на планере (как и на самолете). Так при разборе мертвой петли мы видели, что если петля пачата с недостаточной скоростью, то в верхней точке петли планер «зависает», иными словами, теряет скорость и падает на нос, переходя в пикирование.



Фиг. 155. Схема сил, действующих на планер при планировании (I), при выравнивании (II) и при потере скорости (III).

О потере скорости несколько раз упоминалось в предыдущих главах. При посадке, например, мы видели, что пилот, выравнивая планер над землей, тем самым тасит скорость, чтобы облегчить приземление. Но как будет вести себя планер, если пилот проделает тот же маневр не над самой землей, а на некоторой высоте?

Предположим, что пилот планирует с нормальным углом (фиг. 155, I). Из гл. II мы знаем, что при планировании сила давления воздуха на крылья  $R$  уравнивает силу тяжести  $G$ . При разложении этих сил мы получаем четыре силы —  $P$  и  $Q$ ,  $G_1$  и  $G_2$ , которые взаимно и уравнивают друг друга, благодаря чему, как мы знаем, и возможен полет планера по наклонной.

Если же пилот возьмет слегка ручку на себя и переведет планер в горизонтальный полет (фиг. 155, II), то, как мы знаем из гл. VI, равновесия сил уже не будет, причем сила лобового сопротивления  $Q$ , ничем не уравновешенная, начнет тотчас же тормозить движение планера, и скорость его начнет гаснуть. Ясно, что вследствие этого сила давления воздуха на кры-

ля будет тоже уменьшаться, а, следовательно, будет уменьшаться и подъемная сила  $P$ . Когда она станет меньше силы тяжести  $G$  (фиг. 155, III), то под действием последней планер, уже потерявший скорость, упадет на нос. Если скорость еще не совсем потеряна и рули еще действуют, то в последний момент пилот может помешать переходу планера на



Фиг. 156. Полная потеря скорости.

нос и, дав ручку от себя, переводит планер на планирование; в этом случае планер только «клюнет» носом и будет продолжать нормальное планирование. Если же скорость потеряна настолько, что рули уже не действуют, то планер, как сказано, упадет на нос, и пилоту вынужден будет перевести его в пикирование (фиг. 156). Такая потеря скорости называется полной. Во время пикирования планер быстро наберет скорость, рули начнут действовать, и пилот легко переведет машину в нормальное планирование. Мы видим, что пилот может потерять скорость намеренно. Но ясно, что потеря скорости может произойти и нечаянно, т. е. вследствие ошибки пилота (например, если он сильно уменьшит угол планирования). В этом случае в момент полной потери скорости планер может перейти в так называемый штопор.

Что такое штопор?

Штопором называется падение планера при одновременном быстром вращении его (фиг. 157), причем наклон продольной оси планера к горизонту равен  $60^{\circ}$ — $65^{\circ}$ , а угол атаки крыльев —  $25^{\circ}$ — $30^{\circ}$ . Центр тяжести планера перемещается при штопоре не вертикально вниз, а по очень крутой спирали, причем ось, вокруг которой при таком падении вращается планер, лежит несколько впереди него.

Штопор может быть неумышленным и умышленным.

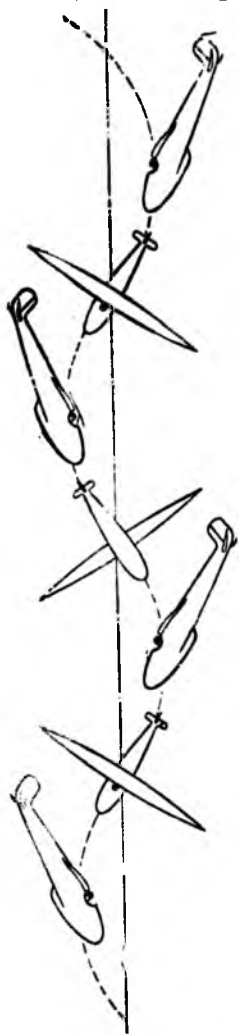
Неумышленный штопор (вследствие ошибки пилота) может повести к катастрофе, если нет запаса высоты и пилот не будет иметь времени вывести машину из штопора. Умышленно штопор делается всегда на высоте (не ниже 200—300 м над землей). Штопор является теперь элементарной фигурой и каждый пилот-паритель неоднократно проделывает его еще при обучении полетам.

Почему же планер штопорит?

В основе штопора лежит аэродинамическое явление, называемое с а м о в р а щ е н и е м, или а в т о р о т а ц и е й крыла.

Авторотация крыла может быть легко продемонстрирована в аэродинамической трубе. В такую трубу (в потоке) помещают крыло (фиг. 158),

Фиг. 157. Штопор планера



крыла, причем стержень расположен вдоль трубы и может вращаться на подшипниках (на схеме это для простоты не показано). Если установить крыло под небольшим углом атаки и толчком вывести его из равновесия, то крыло, несколько раз повернувшись, остановится. Если же крыло установить под углом атаки больше критического (т. е. больше  $14-17^\circ$ ), то достаточно небольшого толчка, чтобы крыло пришло в быстрое вращение. Это явление и называется самовращением крыла или авторотацией.

Теперь посмотрим, как делается умышленный штопор.

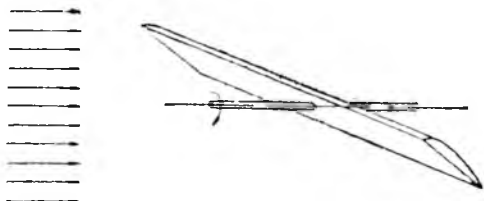
В горизонтальном полете пилот «выбирает» ручку на себя и увеличивает тем угол атаки крыльев. Вследствие этого скорость начнет гаснуть (см. фиг. 155). Когда скорость станет меньше посадочной и угол атаки больше критического, подъемная сила крыльев станет меньше веса планера, и он начнет терять устойчивость (полная потеря скорости). В этот момент пилот довольно резко «дает ногу» — левую, если он хочет делать левый штопор (т. е. чтобы планер при падении вращался влево) или правую, если он хочет делать правый штопор. Тогда планер и срывается в штопор. Вращательный момент руля поворота является, следовательно, первоначальным толчком, а дальнейшее вращение планера происходит вследствие авторотации его крыльев (угол атаки крыльев выше критического —  $25-30^\circ$ ).

Чтобы вывести планер из штопора, надо прекратить самовращение, т. е. прежде всего уменьшить угол атаки. Для этого пилот переводит планер в пикирование, для чего «дает ручку от себя», а ноги ставит «нейтрально» или даже с целью ускорить выход из штопора, «дает обратную ногу» (правую — при левом штопоре, левую — при правом). Когда планер перейдет в пикирование, пилот ставит ноги «нейтрально», а ручку начинает очень плавно «выбирать на себя» и переводит планер в горизонтальный полет.

Штопор и другие фигуры пилот-паритель должен

уметь делать для того, чтобы легко и быстро выходить из любого непредвиденного положения в воздухе, в которое он может попасть или вследствие допущенной им ошибки или по независящим от него причинам (например, сильные порывы ветра, отсутствие видимости — полет в облаке или тумане).

При штопоре, как и при других фигурах, планер



Фиг. 158. Самовращение, или авторотация крыла, помещенного в потоке.

в некоторые моменты находится под действием значительно увеличенных сил давления воздуха и сил инерции в сравнении с теми, которые имеют место в нормальном полете. Вследствие этого все части планера, особенно крылья и рули, испытывают перегрузки, которые при некоторых фигурах бывают иногда в три — четыре раза больше, чем при нормальном планировании. Поэтому для фигурных полетов строятся особо прочные планеры.

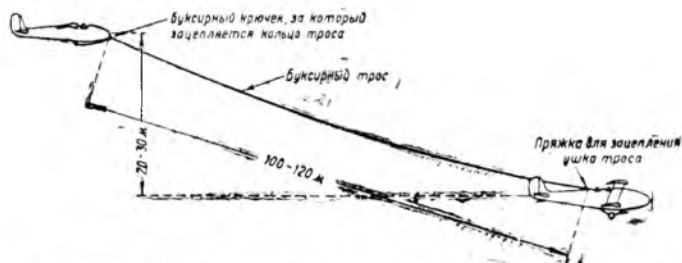
## ГЛАВА XI

# БУКСИРНЫЙ ПОЛЕТ НА ПЛАНЕРЕ ОСОБЕННОСТИ БУКСИРНОГО ПОЛЕТА И ПОДГОТОВКА К НЕМУ

Планер до некоторой степени можно сравнить с парусной шкуной. При попутном ветре последняя плывет самостоятельно, без ветра же она может идти лишь на буксире за моторным катером или пароходом; так



и планер может лететь самостоятельно, если есть необходимые восходящие потоки; если же их нет, он может лететь на буксире за самолетом. Кроме того подобно тому, как пароход может вести на буксире одну шкуну (баржу) или несколько, т. е. целый караван, так и самолет может вести один планер или два, три и даже больше, т. е. целый воздушный караван.

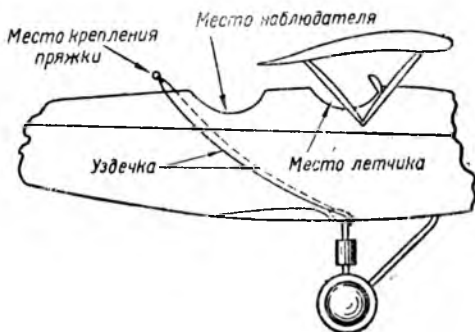


Фиг. 159. Схема полета планера на буксире у самолета.

Когда планер летит самостоятельно, он всегда планирует. Если он забирает высоту или летит на большое расстояние, то только благодаря энергии восходящих потоков воздуха. Если планер летит на буксире за самолетом, то он может лететь как горизонтально, так и забирать высоту благодаря энергии, даваемой мотором самолета. Отсюда ясно, что планер, идя на буксире за самолетом, берет часть мощности, развиваемой мотором самолета. Но, как показывает опыт, доля мощности, которая идет на тягу планера, очень невелика, это объясняется тем, что современный планер с его отличными обтекаемыми формами имеет незначительное лобовое сопротивление. Благодаря этому самолет может тянуть за собой планер с грузом в несколько раз большим того, который мог бы поднять сам самолет, если бы летел без планера. Конечно, отнимая часть мощности у самолета, планер тем самым уменьшает его скорость, но, как показывает опыт, это уменьшение скорости незначительно.

Для буксировки пока применяются сравнительно

тихоходные самолеты со скоростью 120—150 км/час, причем никаких особых устройств кроме небольших приспособлений самолет не требует. Конструкция же планера должна быть специально рассчитана на буксирный полет и должна прежде всего отличаться прочностью. Кроме того планер должен быть хорошо управляемым и чутким на рули. Самолет всегда



Фиг. 160. Схема крепления на самолете уздечки, за которую зацепляется буксирный трос.

применяется двухместный, так как пассажир (наблюдатель) должен следить за планером, подавать в нужный момент сигналы, производить отцепку троса и т. д. Планер же может быть одноместным, двухместным или даже многоместным. Может он быть также и грузовым.

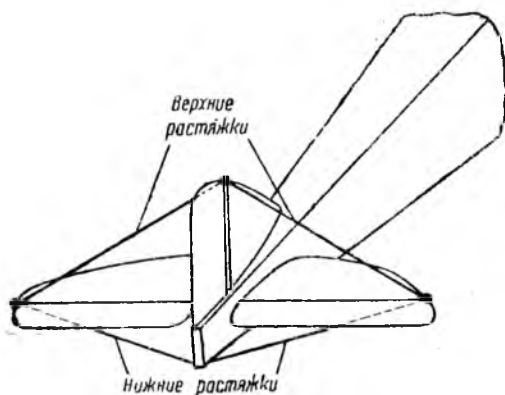
Общая схема буксирного полета дана на фиг. 159.

Буксирный стальной трос имеет в длину 100—120 м, а толщина его зависит от грузоподъемности буксируемого планера; при буксировке одноместного планера трос берется толщиной около 3 мм. Для того чтобы трос был лучше виден в воздухе, к нему привязывают по всей длине несколько цветных матерчатых лент.

Где и как прикрепляется буксирный трос у самолета и планера?

Если вы видели буксирный пароход (или катер),

то, вероятно, знаете, что буксирный канат зацепляется не на корме парохода, а примерно в середине его, потому что в противном случае пароход не смог бы поворачиваться; чтобы канат не задевал за постройки на кормовой палубе сделаны дуги, поверх которых и ходит канат при изменении пароходом курса.

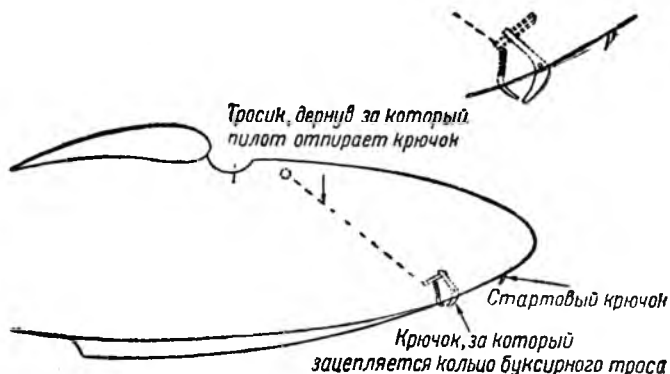


Фиг. 161. Схема установки предохранительных растяжек на хвостовом оперении самолета для буксирного полета.

И при буксировке планера трос нельзя зацепить за хвост самолета, ибо в противном случае летчик не смог бы управлять самолетом. Лучше всего прикрепить трос в центре тяжести, вокруг которого, как мы знаем, вращается самолет. На практике трос прикрепляется если и не в центре тяжести, то во всяком случае вблизи него. На нашей схеме трос как будто прикреплен к фюзеляжу, на самом же деле, как мы сейчас увидим, это не так.

На фиг. 160 показаны способ и место прикрепления так называемой уздечки, за которую и зацепляется уже буксирный трос. Уздечка сделана из стального троса, причем каждый конец ее оканчивается петлей; этими петлями уздечку прикрепляют

к верхним концам задних стоек шасси. Таким образом уздечка охватывает фюзеляж с обоих боков и выходит на фюзеляж сзади сиденья наблюдателя, заканчиваясь кольцом. К последнему прикрепляется специальный замок, запирающий ушко на конце буксирного троса. В качестве такого замка у нас иногда применяют пряжку от пилотского ремня. Та-



Фиг. 162. Буксирный крючок на носу планера.

кая пряжка имеет изогнутый рычажок; если повернуть этот рычажок, замок пряжки отпирается, ушко освобождается, и трос отцепляется.

Говоря о буксирном пароходе, мы упомянули о предохранительных дугах на его кормовой палубе. На заднем конце фюзеляжа самолета находится хвостовое оперение, состоящее из стабилизатора, руля высоты, киля и руля поворотов. Ясно, что буксирный трос не должен задевать за эти органы управления. Для этого делаются так называемые предохранительные растяжки из стальной проволоки (фиг. 161 и 166), на которые ложится и по которым ходит буксирный трос.

Конец буксирного троса, который идет к планеру, оканчивается кольцом. Этим кольцом трос зацепляется за специальный буксирный крючок, находящийся на носу планера, ниже стартового крючка (фиг. 162). В противоположность последнему буксир-

ный крючок устроен так, что кольцо буксирного троса само не может с него спадать. Когда нужно произвести отцепление, пилот тянет за тросик, идущий к нему от крючка, и последний раскрывается, освобождая этим кольцо буксирного троса. Принцип устройства буксирного крючка тот же, что и самопуска для запуска планеров, который был рассмотрен в гл. VI.

## ВЗЛЕТ ПЛАНЕРА НА БУКСИРЕ У САМОЛЕТА

Взлет планера на буксире производится с ровного аэродрома, площадь которого должна быть не менее  $400 \times 400$  м. Взлет делается обязательно строго против ветра. Перед взлетом самолет и планер ставятся один за другим в направлении взлета на расстоянии, немного меньшем длины буксирного троса, потому что планер ставится не в «затылок» самолету, а метров на 10—15 в сторону от линии, составляющей продолжение продольной оси самолета (фиг. 163), обычно вправо от нее. Планер ставится в сторону от самолета для того, чтобы он не попадал в струю от винта. Но, как видно из схемы, продольные оси самолета и планера параллельны.

Установка самолета и планера делается в таком порядке: сначала ставится на нужном месте аэродрома планер, затем от него растягивается по земле буксирный трос, к другому концу которого подруливает самолет и встает на свое место. Затем производится зацепление буксирного троса; конец, крепящийся к планеру, имеет, как сказано, кольцо; это кольцо зацепляется за буксирный крючок, и он запирается; конец, крепящийся к самолету, имеет, как сказано, ушко; это ушко вставляется в пряжку на конце уздечки, и замок пряжки запирается (поворотом рычажка). Таким образом зацепление сделано, и буксирный трос не задевает рулей самолета, так как лежит на верхней предохранительной растяжке, именно на правой.

Когда все готово, и стартер, взмахнув белым флаж-

ком, дал разрешение на взлет, летчик самолета поднимает руку, спрашивая этим, готов ли пилот планера.

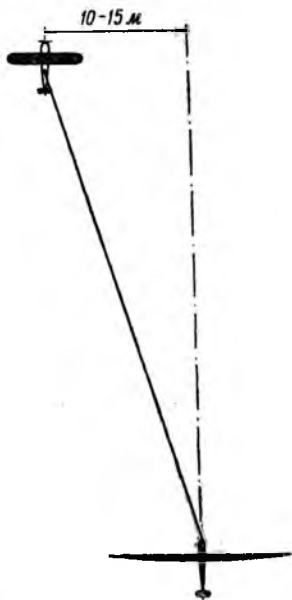
Если пилот планера готов, он тоже поднимает руку.

Тогда летчик самолета немного прибавляет обороты мотора и выбирает слабинку троса, т. е. заставляет самолет немного продвинуться вперед и тем натягивает трос, который был растянут по земле. Вслед за тем летчик самолета плавно дает полный газ, и взлет начинается.

Планер, как и при запуске амортизатором, поддерживают за концы крыльев два человека (или один — за одно крыло); когда планер начинает двигаться эти люди бегут десятков — два шагов рядом с планером, продолжая поддерживать крылья до тех пор, пока скорость планера не станет такой, что поперечное равновесие пилот сможет уже сам сохранять с помощью элеронов.

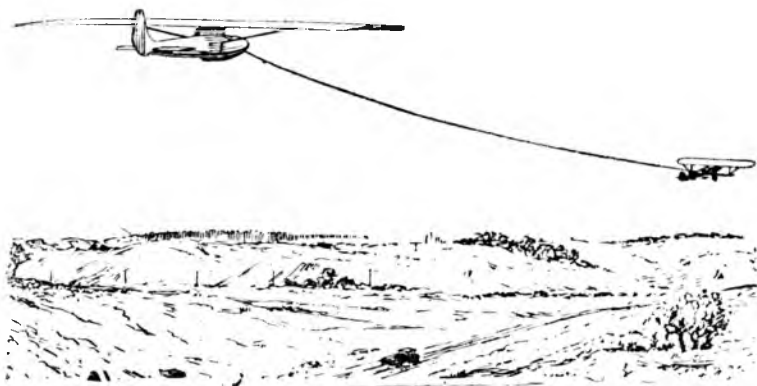
Как управляет пилот планером на взлете?..

В начале взлета пилот держит ручку в нейтральном положении, т. е. руль высоты не отклонен ни вверх, ни вниз. Так как планер взлетает не в «затылок» самолету, а правее него, то естественно, что он будет стремиться слегка завернуть влево; поэтому пилот чуть-чуть придерживает его правой ногой, т. е. чуть-чуть отклоняет руль поворотов вправо. Поперечное равновесие, как сказано, пилот сохраняет элеронами, т. е. путем маленьких отклонений ручки влево и вправо, смотря по тому, в какую сторону кренится планер.



Фиг. 163. Схема взаимного расположения самолета-буксировщика и планера перед взлетом.

Мы знаем, что планер летает на значительно меньших скоростях, чем самолет, поэтому подъемная сила крыльев планера станет равной его весу значительно раньше, чем подъемная сила крыльев самолета уравновесит его вес. Иными словами, планер оторвется от земли первым. Как только он оторвется, пилот его



Фиг. 164. Перспективная схема буксирного полета планера.

чуть-чуть берет ручку на себя и забирает 20—30 м высоты — так называемое превышение над самолетом.

Как только пилот планера заберет нужное превышение (зачем оно нужно, скажем дальше), он переводит планер в пологое планирование, чтобы ослабить трос и тем облегчить самолету отрыв от земли. Когда последний оторвется и начнет пологий подъем, пилот планера снова чуть-чуть берет ручку на себя и устанавливает такой же угол подъема, с каким поднимается самолет, но оставаясь все время выше самолета (фиг. 164) и попрежнему правее него.

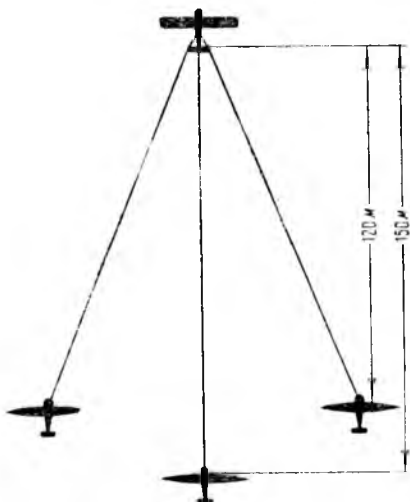
Буксировка одним самолетом двух планеров производится помощью двух тросов, причем для взлета один планер ставится правее самолета, а другой — левее; для буксировки трех планеров требуется три троса, причем для взлета один планер ставится по одну сторону самолета, второй по другую, а третий

между ними; трос для этого планера берется несколько длиннее (фиг. 165).

В остальном взлет двух и трех планеров на буксире у самолета в общем таков же, как и одного планера.

## ПОЛЕТ НА БУКСИРЕ

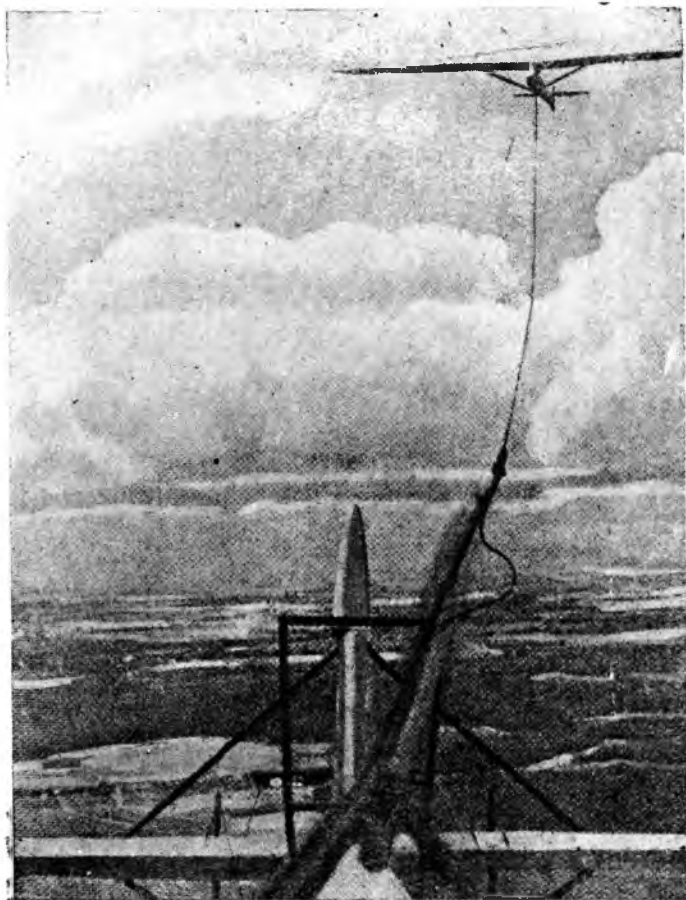
После взлета пилот планера все время сохраняет взятое превышение над самолетом (40—30 м). Это превышение необходимо потому, что при полете на одной высоте струя от винта самолета будет мешать управлению планером. Кроме того, превышение облегчает маневрирование планера, что особенно важно при неспокойном воздухе. Большое превышение планера над самолетом невыгодно, так как тогда заметно возрастает лобовое сопротивление троса. Одновременно с превышением пилот держит курс все время несколько в стороне от самолета, сохраняя таким образом то положение, которое он занимал по отношению к самолету.



Фиг. 165. Схема взаимного расположения самолета-буксировщика и трех планеров перед взлетом.

Во время полета (фиг. 164 и 166) буксирный трос не туго натянут, а немного провисает. Это нужно для того, чтобы планер не испытывал резких рывков. Если трос сильно натянется, пилот слегка дает ручку от себя, скорость планера увеличивается, и натяжение троса уменьшается. Если, наоборот, трос слиш-

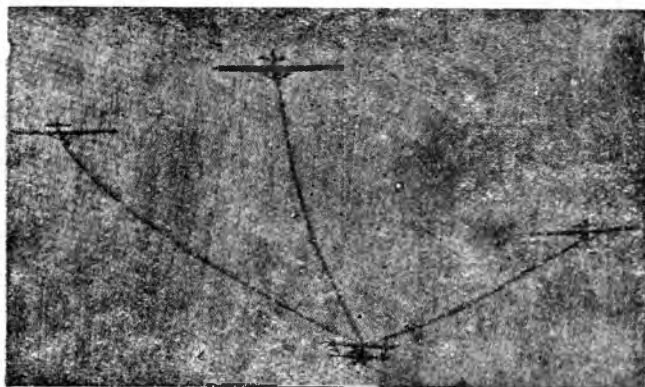




Фиг. 166. Полет илачера на буксире у самолета. Хорошо видны предохранительные растяжки (ромб) у хвостового оперения самолета.

ком провиснет, пилот планера чуть-чуть увеличивает превышение, т. е. берет слегка ручку на себя, скорость планера уменьшается, и трос натягивается. Во время полета летчик самолета старается вести машину плавно, не изменять резко ее скорость и направление.

Главная же задача пилота планера во время полета на буксире — сохранять все время правильное поло-



Фиг. 167. Полет трех планеров на буксире у одного самолета.

жение относительно самолета и следить за натяжением троса. Кроме того он следит за сигналами с самолета, подавая которые лежит на обязанности наблюдателя. Иногда между самолетом и планером устанавливается телефонная связь (телефонный шнур протягивается вдоль троса), и тогда сигналы не нужны. Телефонная связь может быть односторонней и двухсторонней; в первом случае говорить может только наблюдатель с самолета, во втором — и пилот планера. Двухсторонняя связь, конечно, удобнее.

Телефонная связь или сигналы нужны для согласования действий пилотов самолета и планера в полете и особенно в момент отцепления.

Для отцепления пилот планера дергает за маленькое кольцо, к которому привязан тросик, идущий к

буксирному крючку, и тем раскрывает последний, вследствие чего кольцо буксирного троса с него спадает, и буксирный трос повисает за самолетом. После отцепки самолет и планер, расходясь друг от друга, идут на посадку. Когда самолет снизится над местом посадки, летчик делает вираж, и наблюдатель, отцепив трос, сбрасывает его на землю, заметив место, чтобы потом легче было найти трос.

В экстренных случаях пилот планера может отцепиться, не дожидаясь сигнала. То же самое может сделать и наблюдатель самолета, если не успеет почему-либо предупредить пилота планера. Если это случится, пилот планера, как только увидит, что самолет произвел отцепление, тотчас же сбрасывает трос.

Полет двух и особенно трех планеров на буксире за одним самолетом (фиг. 167), разумеется, сложнее и требует от пилотов планеров много искусства и опыта.