

П. АНТОНОВ

# СПОРТИВНЫЕ ПРЫЖКИ С ПАРАШЮТОМ



ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ • МОСКВА — 1956

П. АНТОНОВ

# СПОРТИВНЫЕ ПРЫЖКИ С ПАРАШЮТОМ

ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ  
МОСКВА—1956

Книга предназначена для спортсменов-парашютистов и инструкторов парашютной подготовки. В ее основу положены лекции, читанные автором на отделении инструкторов-летчиков парашютной подготовки Центральной объединенной летно-технической школы ДОСААФ.

В I и II главах рассматриваются вопросы, касающиеся физической сущности основных элементов прыжка с парашютом.

Выполнению прыжков на точность приземления и расчету прыжка посвящены главы III и IV. В V главе очень кратко рассмотрены вопросы расчета парашюта на прочность.

Кроме теоретических вопросов, книга содержит задачи и упражнения, решение которых будет способствовать усвоению теоретических и практических вопросов.

Так как подобное учебное пособие издается впервые, автор будет весьма признателен читателям за критические замечания.

## ГЛАВА I

### НЕКОТОРЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

Выполнение прыжков требует от парашютиста не только практических навыков, но и теоретических знаний. Успешно овладеть теоретическими основами прыжка с парашютом можно только зная основные законы теоретической механики.

Теоретическая механика изучает механическое движение тел в пространстве под действием приложенных сил.

Теоретическую механику делят на статику, кинематику и динамику. Статика изучает сложение сил и их равновесие, кинематика — движение тел, независимо от сил, его вызывающих, а динамика — движение тел под действием сил, вызывающих это движение.

#### СИЛА

Если мы хотим привести в движение тело, находящееся в покое, или изменить движение тела, то мы должны приложить для этого определенное усилие.

Таким образом, причиной изменения состояния тела (движения или покоя) всегда является другое тело, действующее на первое. В природе не существует силы, как чего-то обособленного от тела, от материи. Существуют только тела, в результате взаимодействия которых происходит изменение движения тел.

*Результат взаимодействия тел, приводящий к изменению скорости или направления их движения, называется силой.*

Действие силы на тело зависит от величины силы, от ее направления и точки приложения.

В технике за единицу измерения силы принимают килограмм (кг).

Направление силы есть то направление, по которому свободное тело, находящееся в покое, начинает двигаться под действием силы.

Точкой приложения силы называется та точка тела, на которую действует сила.

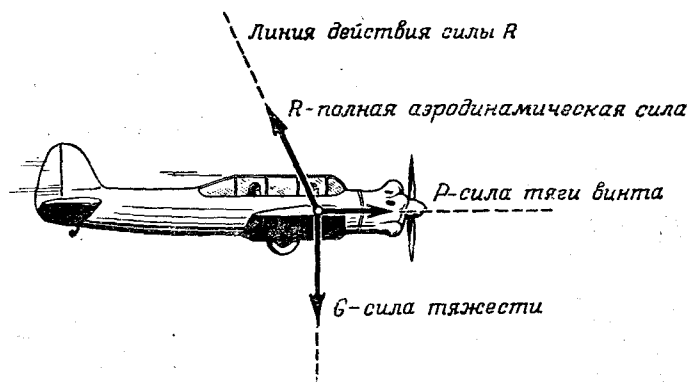


Рис. 1

Итак, сила есть физическая величина, определяемая не только числовым значением, но и направлением в пространстве, т. е. величина векторная.

Графически вектор силы изображают в виде отрезка прямой, длина которого в силовом масштабе выражает численное значение силы, а направление, отмеченное стрелкой, указывает направление силы.

Вектор силы обозначается буквой с чертой над ней, например:  $\vec{R}$ ,  $\vec{P}$ ,  $\vec{G}$ . Численная величина силы обозначается той же буквой, но без черты.

Прямую, на которой лежит вектор силы, называют линией действия силы.

В основе элементарной статики лежит ряд определений. Эти определения следующие:

1. Совокупность сил, действующих на тело, называется системой сил.

Примером системы сил могут служить силы, действующие на самолет в полете (рис. 1).

2. Система сил, приложенных к телу, называется взаимно уравновешенной, если от действия этой системы сил движение или покой тела не изменяется.

3. Если действие данной системы сил можно заменить действием одной силы, то эта сила называется равнодействующей данной системы сил.

Например, полная аэродинамическая сила  $R$  является равнодействующей системы двух сил: подъемной силы крыла  $Y$  и силы лобового сопротивления  $Q$  (рис. 2).

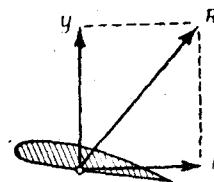


Рис. 2

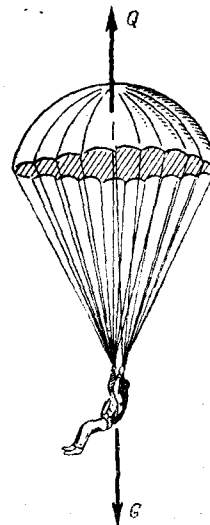


Рис. 3

4. Две силы, равные по величине и действующие по одной прямой в разные стороны, взаимно уравновешиваются.

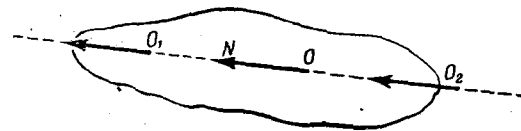


Рис. 4

Например, при установившейся скорости снижения сила веса парашютиста  $G$  уравновешивается силой сопротивления купола парашюта  $Q$  (рис. 3).

5. Силу, приложенную к телу, можно, не изменяя ее действия, переносить в любую точку тела, лежащую на линии действия этой силы (рис. 4).

На основании этого груз  $P$ , сбрасываемый на парашюте, можно присоединить как непосредственно к стропам парашюта, так и через промежуточную подвесную систему (рис. 5).

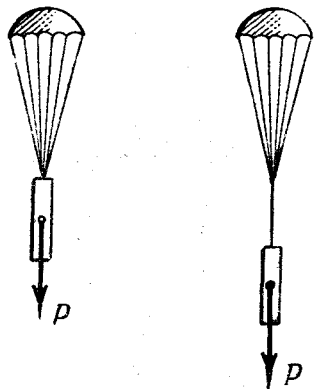


Рис. 5

### СЛОЖЕНИЕ СИЛ

Сложить силы, действующие на тело, это значит заменить все данные силы одной силой — равнодействующей.

Если на тело в одной точке действуют две силы, направленные под углом друг к другу (рис. 6), то равнодействующая их по величине и направлению изображается диагональю параллелограмма, построенного на векторах складываемых сил.

При этом возможны следующие частные случаи:

1.  $\varphi = 0$ . Силы  $P$  и  $Q$  направлены по одной прямой в одну сторону (рис. 7). В этом случае

$$R = P + Q,$$

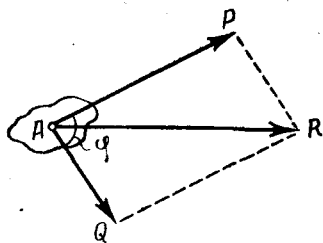


Рис. 6

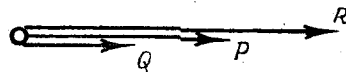


Рис. 7

т. е. равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в одну сторону, равна их сумме, приложена в той же точке и действует по той же прямой в ту же сторону

2.  $\varphi = 180^\circ$ . Силы  $P$  и  $Q$  направлены по одной прямой в разные стороны (рис. 8).

$$R = P - Q,$$

т. е. равнодействующая двух сил, направленных по одной прямой в разные стороны, равна их разности, приложена к той же точке и действует по той же прямой в сторону большей силы.



Рис. 8

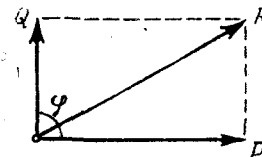


Рис. 9

3.  $\varphi = 90^\circ$ . Силы  $P$  и  $Q$  взаимно перпендикулярны (рис. 9). Следовательно

$$R = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

### РАЗЛОЖЕНИЕ СИЛЫ

Не меньшее значение, чем сложение сил, имеет обратное действие — разложение силы на составляющие. При этом наиболее часто встречается случай, когда известны направления, по которым необходимо разложить данную силу.

Рассмотрим пример. При раскачивании парашютиста (рис. 10) силу его веса  $G$  можно разложить на две силы: силу  $G_1$ , действующую по касательной к траектории (линии, которую описывает тело при движении) раскачивания, и силу  $G_2$ , действующую по направлению продольной оси парашюта  $mn$ .

Действие сил  $G_1$  и  $G_2$  равноценно действию одной силы веса  $G$ .

Составляющая сила  $G_1$  вызывает раскачивание парашютиста, а составляющая  $G_2$  натягивает стропы и заставляет парашютиста снижаться.

Часто бывает необходимо определить величину составляющих сил по известной равнодействующей силе и углу

между силами. Если в рассмотренном примере (рис. 10) сила веса парашютиста  $G = 80 \text{ кг}$ ,  $\alpha = 30^\circ$ , то величины составляющих сил  $G_1$  и  $G_2$  легко определяются из выражений:

$$G_1 = G \cdot \sin 30^\circ = 80 \cdot 0,5 = 40 \text{ кг};$$

$$G_2 = G \cdot \cos 30^\circ = 80 \cdot 0,87 = 70 \text{ кг},$$

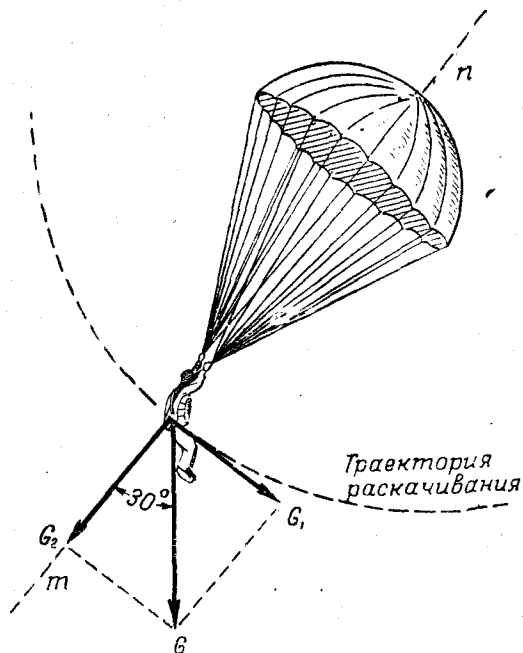


Рис. 10

т. е. катет равен гипотенузе, умноженной на синус противолежащего угла или на косинус прилежащего угла.

Значение синуса и косинуса для угла  $30^\circ$  определяем по тригонометрическим таблицам.

### ЦЕНТР ТЯЖЕСТИ

Центром тяжести тела называется точка приложения равнодействующей сил веса отдельных частей, из которых состоит тело.

Например, для парашютиста это будет точка приложения равнодействующей силы веса тела парашютиста, его обмундирования, парашютов, регистрирующих приборов и т. д.

Центр тяжести тела не меняет своего места с изменением положения тела в пространстве, а меняет его лишь при изменении положения грузов. Поэтому центр тяжести парашютиста зависит только от расположения парашютов, регистрирующих приборов и т. д.

Через центр тяжести парашютиста при его свободном падении можно провести три взаимно перпендикулярные оси  $x$ ,  $y$  и  $z$ , относительно которых парашютист, управляя своим телом, может осуществлять вращение (рис. 11).

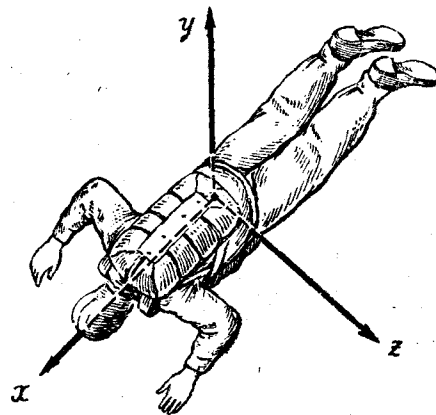


Рис. 11

### МОМЕНТЫ СИЛЫ

Моментом силы  $F$  относительно точки  $O$  называется произведение величины этой силы  $F$  на плечо  $l$  (рис. 12), т. е. на кратчайшее расстояние от точки  $O$ , относительно которой производится вращение тела, до линии действия силы. Поэтому  $M = Fl$  (кгм). Величина момента силы выражается в килограммометрах (кгм).

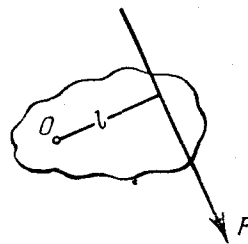


Рис. 12

Момент силы относительно некоторой точки определяет вращательное действие данной силы вокруг этой точки. Это вполне понятно, так как вращать тело вокруг какой-нибудь точки тем легче, чем больше вращающая сила и чем больше ее плечо.

Понятие о моменте силы является



очень важным в парашютном деле, так как принцип управления парашютиста своим телом при свободном падении основан на создании вращающих моментов от действия аэродинамических сил относительно трех взаимно

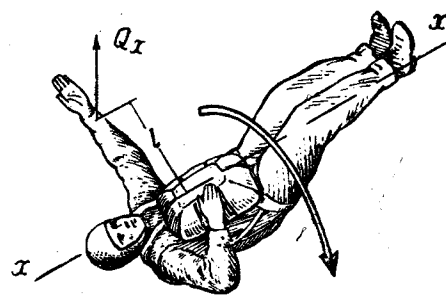


Рис. 13

перпендикулярных осей, проходящих через центр тяжести парашютиста.

Если парашютист падает спиной вниз и хочет перейти к падению лицом к земле, он должен для этого выставить в сторону какую-либо руку (рис. 13). При этом вращающий момент от силы набегающего на руку воздушного потока  $Q_x$ , приложенной на расстоянии  $l$  от продольной оси вращения  $x-x'$ , повернет парашютиста относительно этой оси на  $90^\circ$ . После этого он должен плавно выставить вперед и в сторону другую руку, несколько подбирая руку, выставленную ранее, чтобы повернуть тело еще на  $90^\circ$  и принять горизонтальное положение лицом к земле.

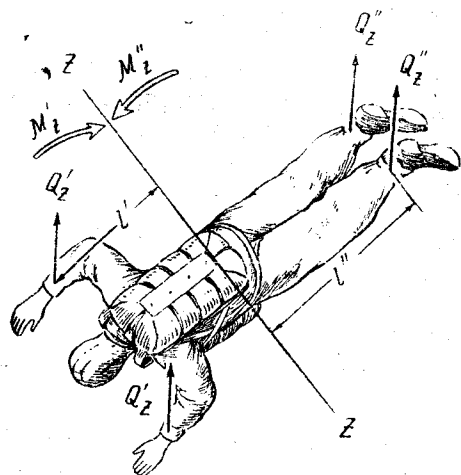


Рис. 14

Для того чтобы тело парашютиста при свободном падении занимало примерно горизонтальное положение лицом к земле (рис. 14) (а это положение является лучшим из всех возможных положений при падении, так как позволяет постоянно осуществлять визуальный контроль

за расстоянием до земли, создает наименьшую скорость падения и лучшие условия для раскрытия парашюта), необходимо, чтобы

$$2M'_z = 2M''_z,$$

где  $2M'_z = 2Q'_z l'$  — вращающие моменты от аэродинамических сил сопротивления рук парашютиста и верхней

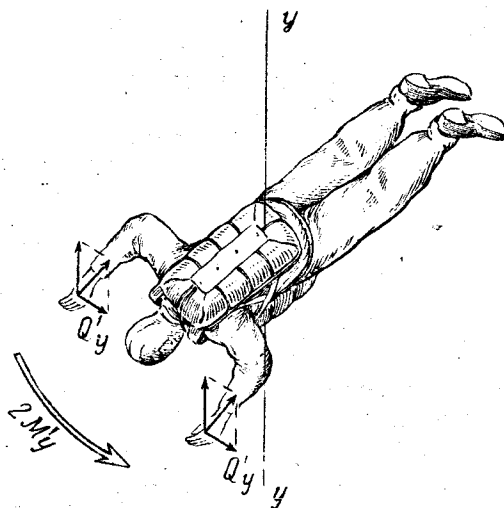


Рис. 15

части туловища, а  $2M''_z = 2Q''_z l''$  — такие же моменты от сил сопротивления его ног и нижней части туловища.

Изменяя величину плеч  $l'$  и  $l''$ , т. е. одновременно вытягивая руки и ноги или подбирая их ближе к телу, парашютист имеет возможность изменять величину вращающих моментов  $M'_z$  и  $M''_z$  и тем самым создавать любой угол наклона своего тела относительно поперечной оси  $z-z'$ .

Разворачиваться относительно вертикальной оси или прекращать вращение относительно нее парашютист может наклоном ладоней в нужную сторону (рис. 15).

Если ладони наклонить, например, влево, то появляющаяся при этом горизонтальная составляющая  $Q'_y$  соз-

дает относительно оси  $z$ — $z$  вращающий момент влево  $2M'_y$  (или момент, противодействующий вращению парашютиста вправо).

### ПАРА СИЛ

Две равные параллельные силы, направленные в противоположные стороны, называются парой сил (рис. 16). Кратчайшее расстояние между линиями действия сил пары называется плечом пары, а произведение одной из сил на плечо пары называется моментом пары сил:  $M = Fl$ .

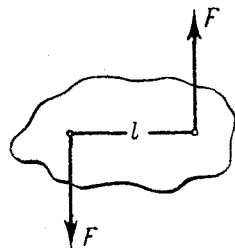


Рис. 16

Под действием пары сил тело совершает только вращательное движение.

### ДВИЖЕНИЕ ТЕЛ

В природе мы наблюдаем различные виды движений. Для того чтобы определить каждый из них, необходимо знать траекторию движения, направление движения тела по этой траектории и путь, проходимый телом за определенные отрезки времени.

Если траектория движения представляет собой прямую линию, то движение называется **прямолинейным**.

Если траектория движения выражается кривой линией, то движение называется **криволинейным**.

Прямолинейное или криволинейное движение может быть **равномерным** или **неравномерным**.

Если тело за равные промежутки времени проходит равные отрезки пути, то движение называется **равномерным**.

Отношение пути  $S$ , пройденного телом, ко времени  $t$ , в течение которого этот путь пройден, называется скоростью равномерного движения. В равномерном движении скорость постоянна:

$$V = \frac{S}{t} \text{ [м/сек] или [км/час]}, \quad (1)$$

откуда

$$S = Vt \text{ [м]}; \quad (2)$$

$$t = \frac{S}{V} \text{ [сек.]}. \quad (3)$$

При решении задач часто приходится от одних единиц скорости переходить к другим.

Полезно запомнить, что

$$1 \text{ км/час} = \frac{1000}{3600} \text{ м/сек} = \frac{1}{3,6} \text{ м/сек};$$

$$1 \text{ м/сек} = \left( \frac{1}{1000} : \frac{1}{3600} \right) \text{ км/час} = 3,6 \text{ км/час}.$$

Поэтому, разделив на 3,6 числовое значение скорости, выраженное в км/час, получим ее числовое значение, выраженное в м/сек:

$$V = 180 \text{ км/час} = \frac{180}{3,6} \text{ м/сек} = 50 \text{ м/сек}.$$

Умножив на 3,6 числовое значение скорости, выраженное в м/сек, получим ее числовое значение, выраженное в км/час:

$$V = 25 \text{ м/сек} = 25 \cdot 3,6 \text{ км/час} = 90 \text{ км/час}.$$

Если с течением времени скорость изменяется, то движение называется **переменным**. В простейшем случае, когда в любые равные промежутки времени скорость изменяется на равную величину, движение называется **равнопеременным**.

Если скорость равнопеременного движения возрастает, то оно называется **равноускоренным**; если скорость убывает, оно называется **равнозамедленным**.

Основным показателем равнопеременного движения является **ускорение**.

Ускорением называется отношение изменения величины скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение произошло.

Ускорение определяется по формуле:

$$a = \frac{V - V_0}{t} \text{ [м/сек}^2\text{]}, \quad (4)$$



где  $V$  — конечная скорость в м/сек;  
 $V_0$  — начальная скорость в м/сек;  
 $t$  — время, в течение которого происходит изменение скорости, в сек.

### СЛОЖЕНИЕ СКОРОСТЕЙ

Сложить скорости, которыми обладает тело, это значит заменить их одной суммарной скоростью, по направлению которой происходит перемещение тела.

Сложение скоростей производится аналогично сложению сил. Если тело  $A$  обладает двумя скоростями, то суммарная скорость представляет собой диагональ параллелограмма, построенного на векторах складываемых скоростей (рис. 17).

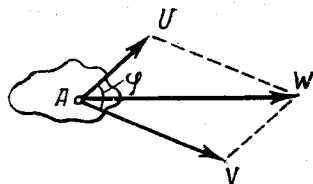


Рис. 17



Рис. 18

Частные случаи:

1.  $\varphi = 0$ . Скорости  $V$  и  $U$  направлены по одной прямой в одну сторону (рис. 18).

В этом случае

$$W = V + U,$$

т. е. суммарная скорость от действия двух скоростей, направленных по одной прямой в одну сторону, равна их

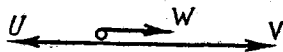


Рис. 19

сумме и действует по той же прямой в ту же сторону.

2.  $\varphi = 180^\circ$ . Скорости  $V$  и  $U$  направлены по одной прямой в разные стороны (рис. 19). Тогда

$$W = V - U,$$

т. е. суммарная скорость от действия двух скоростей, направленных по одной прямой в разные стороны, равна их разности и действует по той же прямой в сторону скорости, имеющей большую величину.

3.  $\varphi = 90^\circ$ . Скорости  $V$  и  $U$  взаимно перпендикулярны. Следовательно

$$W = \sqrt{V^2 + U^2}.$$

### СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛА

Одним из примеров равномерно ускоренного движения является свободное падение тела.

Свободным падением называется движение тела под действием силы тяжести. При свободном падении тело падает вертикально вниз, поэтому свободное падение является движением прямолинейным. В то же время легко заметить, что скорость при этом постепенно возрастает, следовательно, свободное падение является движением ускоренным.

Наблюдая падение различных тел в стеклянной трубке, из которой выкачан воздух, можно установить, что все тела падают в пустоте равноускоренно с одинаковым ускорением. Это ускорение, приобретаемое при свободном падении под действием силы земного притяжения, называется ускорением свободного падения и обозначается буквой  $g$ .

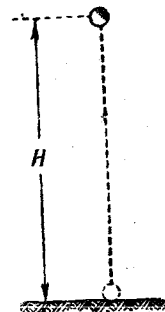


Рис. 20

Величина ускорения силы тяжести для данной широты всегда постоянна. Она несколько изменяется с изменением широты места: на экваторе ее величина меньше, на полюсах больше. Для средних широт можно считать, что  $g \approx 9,81 \text{ м/сек}^2$ .

Если тело свободно падает в безвоздушном пространстве с высоты  $H$  (рис. 20), то его скорость в конце падения и пройденный путь  $H$  определяются по формулам:

$$V = g t \text{ [м/сек]}, \quad (5)$$

$$H = \frac{g t^2}{2} \text{ [м]}, \quad (6)$$

т. е. скорость свободно падающего тела пропорциональна времени падения, а путь пропорционален квадрату времени падения. Для малых расстояний падения (в пределах 2—3 сек.) формулами (5) и (6) можно также пользоваться и при падении тел в воздухе.

Равномерно ускоренное движение свободно падающих тел может быть только в безвоздушном пространстве. При свободном падении тела в воздухе движение его не будет равноускоренным, так как, кроме силы тяжести, на него действует сила сопротивления воздуха, в результате чего законы падения тел в воздухе отличаются от законов падения тел в пустоте.

## ТРЕНИЕ

Трением называется сопротивление относительному перемещению двух соприкасающихся тел.

Сила сопротивления относительному перемещению называется силой трения.

Сила трения возникает в плоскости касания тел и направлена в сторону, противоположную движению; величина ее определяется по формуле:

$$F = f \cdot N \text{ [кг]},$$

где  $N$  — сила нормального давления (сила, перпендикулярная к трущейся поверхности) в кг;

$f$  — коэффициент трения обычно меньше единицы; он зависит от материала трущихся поверхностей и от степени их гладкости.

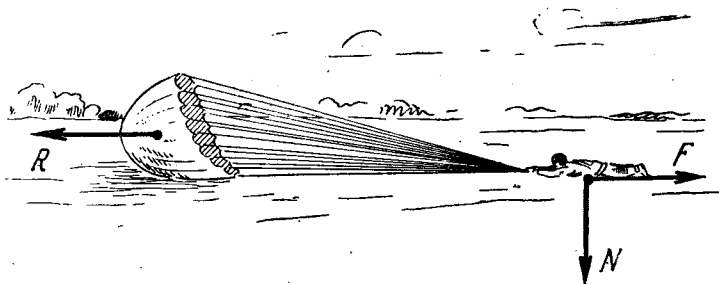


Рис. 21

На рис. 21 показано протаскивание парашютиста после приземления, бывающее при скорости ветра более 5 м/сек.

Скорость протаскивания зависит от скорости ветра и от силы трения, возникающей при скольжении тела парашютиста по земле. В свою очередь сила трения зависит от состояния поверхности земли (коэффициента трения) и от веса парашютиста. Поэтому на неровной почве протаскивание будет меньше, чем на ровной почве с травяным покровом. Зимой на подмерзшей корке снега протаскивание значительно больше, чем летом, а в кустарнике его вовсе может не быть.

## ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

В основе динамики лежат три закона Ньютона.

### 1-й закон Ньютона

*Всякое тело стремится сохранить состояние покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока какая-либо внешняя сила не выведет его из этого состояния.*

В природе всегда существуют силы, препятствующие движению. Такими силами являются, например, сила трения и сила сопротивления воздуха. Поэтому даже в том случае, когда необходимо осуществить равномерное и прямолинейное движение тела, приходится прикладывать к нему движущую силу, назначение которой состоит

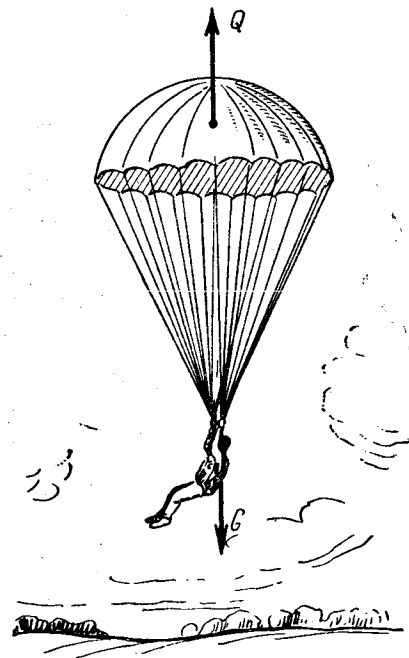


Рис. 22

только в том, чтобы нейтрализовать силы, препятствующие движению. И если сила, вызывающая движение, будет равна по величине и противоположна по направлению силе, препятствующей движению, то любое тело будет двигаться прямолинейно и равномерно либо будет сохранять состояние покоя.

Например, если сила веса парашютиста  $G$ , являющаяся движущей силой, равна по величине и противоположна по направлению силе сопротивления парашюта  $Q$ , т. е. если эти силы взаимно уравнивают друг друга, то парашютист снижается с постоянной скоростью (рис. 22). Он стремится сохранить состояние равномерного и прямолинейного движения, двигаясь по инерции.

## 2-й закон Ньютона

Ускорение, приобретаемое телом под действием силы, прямо пропорционально величине этой силы и обратно пропорционально массе тела, т. е.

$$a = \frac{F}{m}, \quad (7)$$

где:  $a$  — ускорение в  $\text{м/сек}^2$ ;

$F$  — сила в  $\text{кг}$ ;

$m$  — масса тела в  $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$ .

Ускорение, приобретаемое самолетом при взлете, будет тем больше, чем меньше его масса и чем больше сила тяги.

Формулу второго закона можно применить для свободного падения тела:

$$g = \frac{P}{m}, \quad (8)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения в  $\text{м/сек}^2$ ;

$P$  — вес тела в  $\text{кг}$ ;

$m$  — масса тела в  $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$ .

Откуда

$$m = \frac{P}{g} \left[ \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}} \right]. \quad (9)$$

Таким образом, для того чтобы найти массу тела, надо его вес разделить на ускорение свободного падения.

## 3-й закон Ньютона

Всякому действию всегда соответствует равное и противоположное противодействие.

Этот закон объясняет причину возникновения сил тяги, например, у поршневого и реактивного двигателей.

Воздушный винт поршневого двигателя отбрасывает большую массу воздуха с некоторой силой. В свою очередь струя воздуха с такой же по величине, но обратной по направлению силой действует на воздушный винт и создает силу тяги, перемещающую самолет.

Газы выбрасываются из сопла реактивного двигателя, а их сила реакции, направленная в противоположную сторону, создает силу тяги, необходимую для полета самолета.

Обобщая изложенные законы Ньютона, приходим к выводу:

1-й закон позволяет определить, действуют ли на тело внешние силы или все силы, приложенные к нему, взаимно уравновешены.

2-й закон устанавливает количественное соотношение между действующей силой и ускорением, которое он сообщает телу.

3-й закон говорит о том, что силы возникают в результате взаимодействия тел.

## КРИВОЛИНЕЙНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Предположим, что от самолета, летящего горизонтально с постоянной скоростью, отделяется парашютист, выполняющий прыжок с задержкой раскрытия парашюта 5 сек. (рис. 23). Отделившись от самолета, парашютист продолжает двигаться по инерции горизонтально и одновременно падает с ускорением под действием силы земного притяжения. Если бы на парашютиста не действовала сила сопротивления воздуха, то через каждую секунду он находился бы в точках  $B_1, B_2, B_3 \dots$ , причем каждая из них была бы на одной вертикали с точками положения самолета  $A_1, A_2, A_3 \dots$ . Соединив точки  $B_1, B_2, B_3$  плавной линией, мы получим траекторию движения парашютиста в безвоздушном пространстве.

В действительности вследствие сопротивления воздуха движение парашютиста и в горизонтальном и в вертикальном направлениях будет неравномерно замедленным

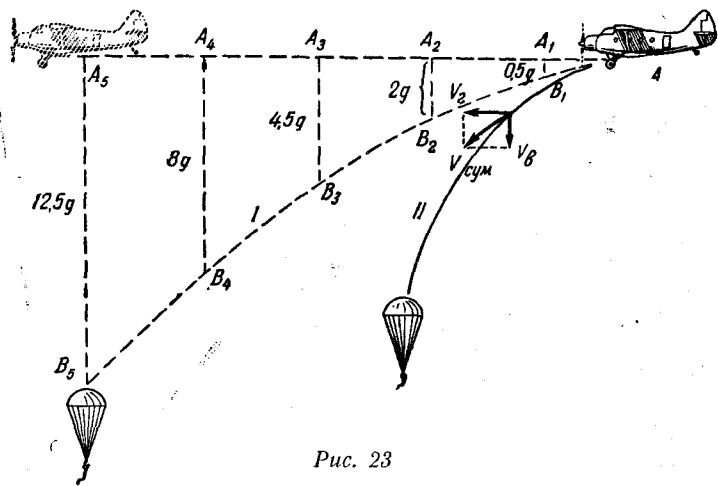


Рис. 23

(ускорение постепенно уменьшается) и траектория падения парашютиста будет примерно совпадать с кривой II, значительно более крутой, чем кривая I.

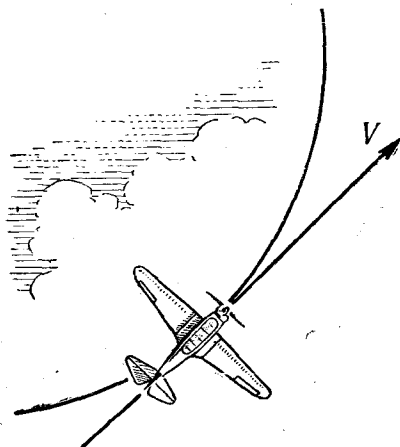


Рис. 24

Из рис. 23 видно, что суммарная скорость парашютиста направлена по касательной к траектории движения.

В этом мы также убеждаемся, наблюдая за движением парашютиста, отделившегося от самолета, выполняющего вираж или спираль (рис. 24). Таким образом, скорость тела при криволинейном движении всегда направлена по касательной к траектории движения.

## ПРИНЦИП Д'АЛАМБЕРА<sup>1</sup>

Из второго закона Ньютона следует, что  $F = ma$ .

Перенесем все члены в одну сторону, тогда  $F - ma = 0$  или  $F + (-ma) = 0$ .

Последнее равенство можно рассматривать как условие равновесия двух сил  $F$  и  $(-ma)$ , приложенных к движущейся точке. Произведение  $(-ma)$  определяет силу инерции движущегося тела, направление которой противоположно направлению ускорения.

Поэтому для решения некоторых практических задач динамики иногда уравнение движения тела представляют в форме уравнения равновесия статики, считая, что в каждый данный момент движения алгебраическая сумма всех внешних сил и сил инерции, действующих на тело, равна нулю. Это и есть принцип д'Аламбера.

Например, требуется определить величину силы торможения, возникающей при раскрытии парашюта (рис. 25). Пользуясь принципом д'Аламбера, составим уравнение

$$G + ma - Q = 0, \quad (10)$$

где  $Q$  — сила торможения (величина динамического удара) в кг;

$G$  — вес парашютиста и парашюта в кг;

$ma$  — сила инерции, направление которой совпадает с направлением действия силы веса, так как при раскрытии парашюта движение замедляется, в кг.

Из предыдущего равенства находим величину силы торможения:

$$Q = G + ma \text{ [кг]}. \quad (11)$$

<sup>1</sup> Д'Аламбер Жан Лерон (1717—1783) — французский математик и философ; сформулировал принцип механики, носящий его имя.

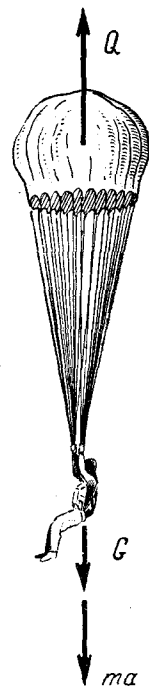


Рис. 25

## ЦЕНТРОБЕЖНАЯ И ЦЕНТРОСТРЕМИТЕЛЬНАЯ СИЛЫ

При равномерном движении тела по траектории, представляющей правильную окружность, величина скорости остается постоянной, а ее направление все время изменяется (скорость в криволинейном движении направлена по касательной к траектории движения).

На основании первого закона Ньютона можно утверждать, что это непрерывное изменение скорости происходит лишь под действием какой-то постоянной силы.

Если привязать к нитке шарик и быстро вращать его, то нитка натянется, а шарик будет описывать круги (рис. 26, а). Если нитка оборвется, то шарик по инерции

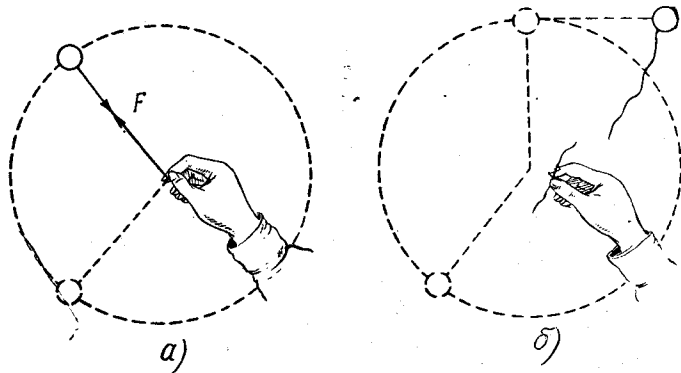


Рис. 26

полетит прямолинейно, по направлению касательной к окружности (рис. 26, б). Сила  $F$ , с которой рука действует на шарик и заставляет его вращаться, направлена по радиусу к центру окружности, поэтому эта сила называется центростремительной.

Итак, центростремительной силой называется сила, с которой тело, вызывающее вращение, действует на вращающееся тело.

Роль центростремительной силы могут выполнять различные силы. При вращении воздушного винта центростремительной силой будут силы сцепления между его отдельными частицами, при движении самолета по криволинейной траектории — давление воздуха на его крылья и т. д.

Величина центростремительной силы прямо пропорциональна массе вращающегося тела, квадрату окружной скорости и обратно пропорциональна радиусу вращения, т. е.

$$F = \frac{m V^2}{R}, \quad (12)$$

где  $m$  — масса вращающегося тела в  $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$ ;

$V$  — его окружная скорость в м/сек;

$R$  — радиус вращения в м;

$F$  — центростремительная сила в кг.

Без центростремительной силы криволинейное движение невозможно.

Согласно третьему закону Ньютона действие всегда вызывает равное и противоположно направленное противодействие.

Силу, противодействующую центростремительной силе, называют центробежной силой. Она направлена по радиусу от центра вращения (центра окружности).

Так как центробежная сила численно равна центростремительной силе, то ее величина определяется по той же формуле (12).

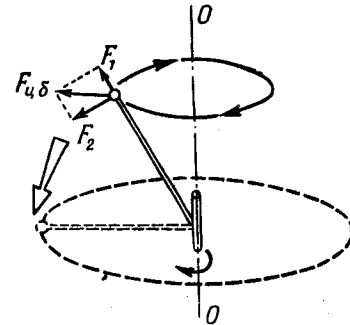


Рис. 27

Под действием центробежной силы каждое тело, вращающееся вокруг оси, стремится удалиться от нее как можно дальше. Если шарик, насаженный на стержень, начать вращать при наклонном положении стержня (рис. 27), то составляющая центробежной силы  $F_2$  заставит его занять положение, перпендикулярное к оси вращения, при котором шарик будет занимать самое удаленное положение от оси вращения.

При выполнении прыжков с задержкой раскрытия парашюта парашютист может попасть во вращательное движение, которое, постепенно увеличиваясь, может перейти в более интенсивное вращение — штопор (рис. 28, а).

Поэтому любое вращение парашютист должен стремиться сразу же прекратить. Для этого он должен развернуть ладони в сторону, противоположную вращению на угол не более  $45^\circ$ , чтобы создать момент  $2M'_y$  (рис. 15), противодействующий вращению.

Если парашютист этого сделать не сможет, то центробежные силы, возникнувшие при обыкновенном штопоре, переведут его в плоский штопор с еще более интенсивным

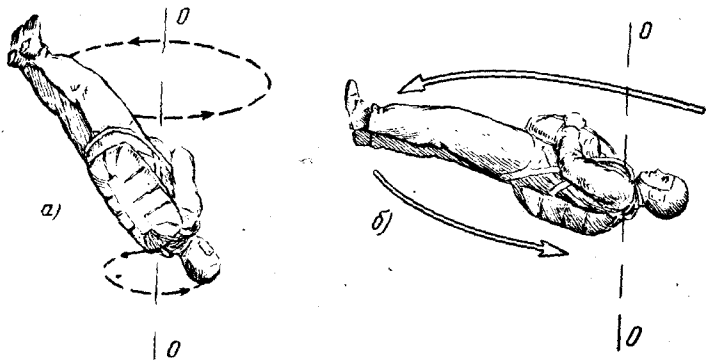


Рис. 28

вращением спиной к земле, при котором тело занимает почти горизонтальное положение (рис. 28, б).

Для выхода из плоского штопора требуется больше времени, и действовать при этом необходимо так, как указано в задаче 11.

### СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Для определения прочности какой-либо детали или материала необходимо знать, каким образом нагрузка действует на тело.

В одних случаях нагрузка прикладывается статически, т. е. постепенно возрастающая, в других случаях она может быть приложена мгновенно в виде удара (динамическая нагрузка).

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Какую форму движения изучает теоретическая механика?
2. На какие основные разделы делится теоретическая механика? Какие вопросы изучает каждый раздел?

3. Что называется силой? В каких единицах она измеряется и какими факторами характеризуется?
4. Что называется вектором? Как он обозначается?
5. Какая сила называется равнодействующей силой?
6. Что значит сложить несколько сил?
7. Как производится разложение силы на составляющие и что для этого необходимо знать?
8. Что называется центром тяжести и от чего зависит его положение? Каким свойством он обладает?
9. Что называется моментом силы? Что он измеряет?
10. Что называется парой сил?
11. Какое движение называется прямолинейным? Криволинейным?
12. Какое движение называется равномерным, неравномерным, равнопеременным?
13. Как определяется скорость равномерного прямолинейного движения? В каких единицах она измеряется?
14. В каких случаях движение называется равноускоренным и равнозамедленным?
15. Что называется ускорением? В каких единицах оно измеряется и к каким величинам относится?
16. Как производится сложение и разложение скоростей? Какие возможны при этом частные случаи?
17. Что называется свободным падением тела?
18. Какой вид движения представляет свободное падение?
19. Чему равно ускорение свободного падения?
20. Что называется трением?
21. Как определить величину силы трения и от чего она зависит?
22. В чем заключаются законы Ньютона?
23. Что такое траектория движения?
24. Какова траектория падающего парашютиста, отделившегося от самолета в воздухе, и чем она отличается от аналогичной траектории в пустоте?
25. Каково направление скорости при криволинейном движении тела?
26. Как формулируется принцип д'Аламбера?
27. Какая сила называется центростремительной и какое движение она вызывает?
28. Какая сила называется центробежной?
29. Как определяется величина центробежной и центростремительной сил?
30. Почему парашютист из нормального штопора переходит в плоский? Какие меры он должен предпринять для выхода из него?
31. Что понимается под статической и динамической нагрузками?

### Задачи

1. Парашютист весом  $G = 80$  кг спускается на парашюте с квадратным куполом (рис. 29). Реактивная сила  $F$ , созданная большим килем парашюта, равна  $10$  кг. Найти равнодействующую сил  $Q$  и  $F$ .

2. Парашютист снижается на двух парашютах, которые создают силы сопротивления  $Q_1 = 60 \text{ кг}$  и  $Q_2 = 40 \text{ кг}$  (рис. 30).

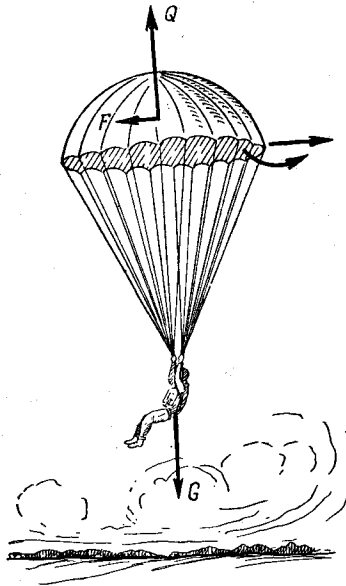


Рис. 29

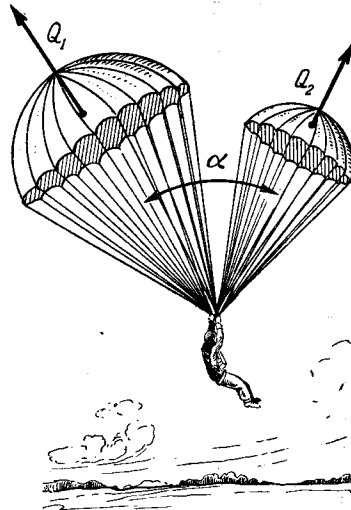


Рис. 30

Определить вес парашютиста, если угол развала куполов  $\alpha = 90^\circ$ .

3. Сила веса парашютиста  $G = 90 \text{ кг}$ , сила сопротивления воздуха в данный момент его свободного падения (рис. 31)  $Q = 60 \text{ кг}$ .

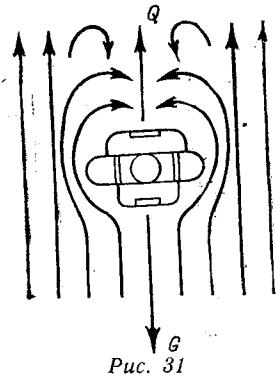


Рис. 31

Какова величина равнодействующей этих двух сил? При каком условии величина равнодействующей силы будет равна нулю?

4. Какое растягивающее усилие действует на каждую из четырех лямок  $a, b, c, d$  подвесной системы парашюта (рис. 32), если угол  $\beta = 30^\circ$ , а вес парашютиста  $G = 86 \text{ кг}$ ?



Рис. 32

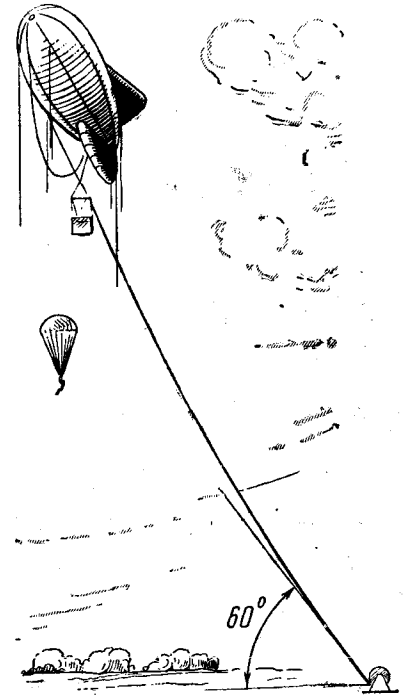


Рис. 33

5. Сила  $R$ , протаскивающая парашютиста, равна  $60 \text{ кг}$ , сила трения  $F = 54 \text{ кг}$  (см. рис. 21). На какую величину парашютист должен уменьшить площадь купола, одувае-

мую ветром, подтягиванием нижних строп, для того чтобы прекратить протаскивание (площадь купола  $S = 70 \text{ м}^2$ )?

6. Привязной трос аэростата образует с поверхностью земли угол  $60^\circ$  (рис. 33). Определить силу натяжения троса и силу ветра, действующую на аэростат, если его подъемная сила равна  $870 \text{ кг}$ .

7. Рассчитать величину усилий, действующих на консоль парашютной вышки  $AB$  и трос  $BC$ , если угол между ними равен  $30^\circ$ , а вес парашютиста  $G = 100 \text{ кг}$  (рис. 34).



8. На рис. 35 показаны три способа подвешивания парашютных качелей. Определить, при каком способе веревки будут испытывать меньшее натяжение.

9. Определить величину момента силы  $G$  относительно точки  $A$  (рис. 34), изгибающего рабочую консоль парашютной вышки, если ее длина  $AB = 10$  м.

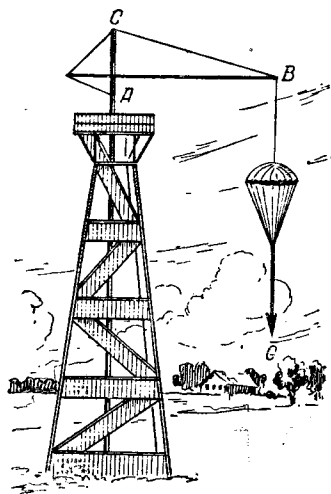


Рис. 34

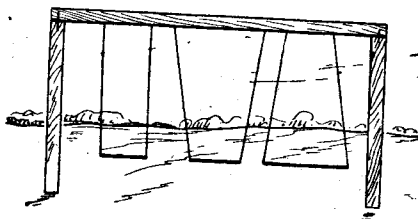


Рис. 35

10. При снижении парашютиста весом  $G = 80$  кг происходит раскачивание (рис. 36). Найти наибольшую величину составляющих сил веса парашютиста  $G_1$ , вызывающей раскачивание, и силы  $G_2$ , вызывающей натяжение строп и снижение парашютиста, если наибольший угол отклонения парашютиста от положения равновесия при раскачивании  $\alpha = 30^\circ$ .

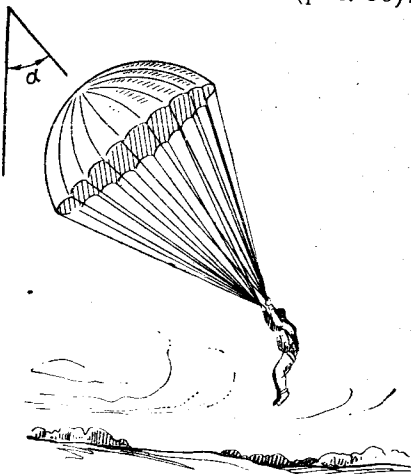


Рис. 36

11. При попадании в интенсивное вращательное движение (плотский штопор) парашютист должен ногу согнуть в колене (лучше со стороны вращения),

одну руку выставить в сторону, а другую ввернуть (рис. 37).

Какая из сил ( $Q_1$ ,  $Q_2$  или  $Q_3$ ) создает наибольший момент сопротивления вращению, если эти силы равны  $Q_1 = Q_2 = 2$  кг,  $Q_3 = 5$  кг, а их расстояния до центра тяжести парашютиста соответственно равны 0,75 м, 0,5 м, 0,3 м?

12. Высота прыжка 900 м. Скорость снижения парашютиста 5 м/сек. Через сколько секунд произойдет его приземление?

13. Имея скорость снижения 5,2 м/сек, парашютист снижался 193 сек. С какой высоты он начал парашютировать?

14. С высоты 800 м парашютист снижался 163 сек. Какова скорость его снижения?

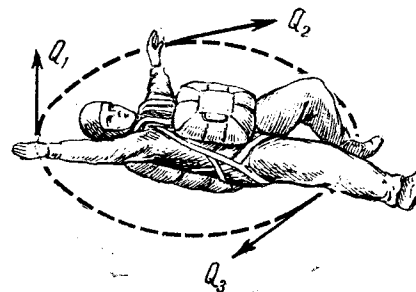


Рис. 37

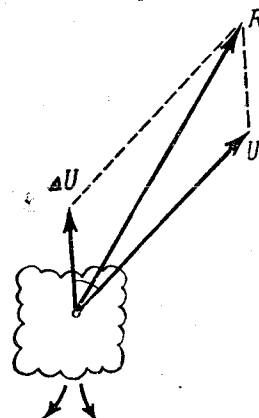


Рис. 38

15. Парашютист падал со скоростью 55 м/сек. Раскрытие парашюта произошло за 2,5 сек., после чего скорость снижения стала равной 5 м/сек. Определить среднюю величину ускорения.

16. Парашютист снижается со скоростью 4 м/сек при спокойном состоянии воздуха. С какой скоростью он будет перемещаться при ветре, скорость которого равна 3 м/сек?

17. При снижении на парашюте с квадратным куполом парашютист устанавливает его в различные положения относительно плоскости ветра для изменения ве-

личины и направления суммарной горизонтальной скорости  $R$  (рис. 38). Найти величину и направление суммарной скорости  $R$ , если угол между скоростью ветра и скоростью, полученной вследствие действия реактивной силы  $\Delta U$  равен  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  ( $U = 5$  м/сек,  $\Delta U = 2$  м/сек).

18. При спуске парашютиста возможны случаи попадания его в потоки, обтекающие возвышенности (рис. 39). С какой стороны склона горы желательно производить приземление и почему?

19. Парашютист пролетел при затяжном прыжке, не раскрывая парашюта, 8326 м за 156 сек. Определить, на

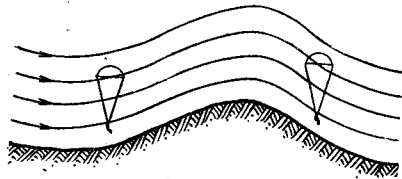


Рис. 39

сколько секунд сопротивление воздуха увеличило время падения парашютиста.

20. Определить величину реактивной силы  $F$ , созданной парашютистом при натяжении лямок парашюта с круглым куполом, если его горизонтальная скорость изменилась в течение 1,5 сек. от 1 м/сек до 3 м/сек. Вес парашютиста (с парашютом) равен 105 кг (рис. 40).

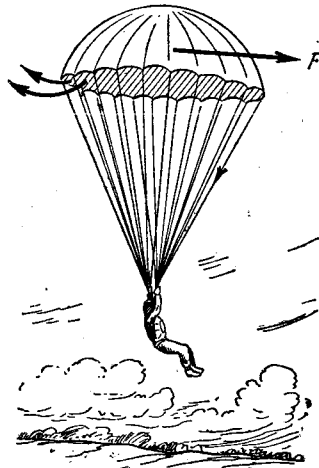


Рис. 40

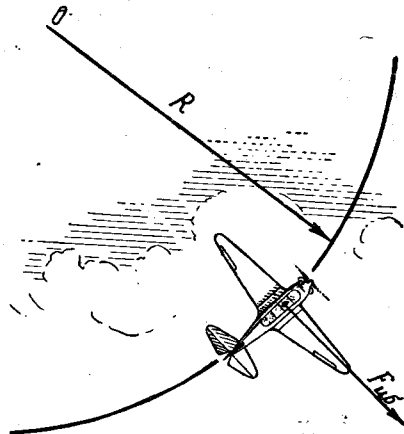


Рис. 41

21. На парашютиста, отделяющегося от самолета «Як-18», выполняющего глубокий вираж, действует центробежная сила, препятствующая отделению от самолета (рис. 41). Найти ее величину, если вес парашютиста (с парашютом) 100 кг. Радиус виража  $R = 110$  м. Скорость самолета 160 км/час.

22. Определить величину центробежной силы, которая действует на парашютиста весом 110 кг, отделяющегося от самолета «Як-18» и выполняющего мелкую спираль на скорости 150 км/час, если радиус спирали  $R_1 = 300$  м?

## ГЛАВА II

### ДВИЖЕНИЕ ПАРАШЮТИСТА В ВОЗДУХЕ

#### СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОЗДУХА

Если тело движется в воздухе, то оно испытывает сопротивление, выраженное в виде действия аэродинамической силы, называемой сопротивлением воздуха.

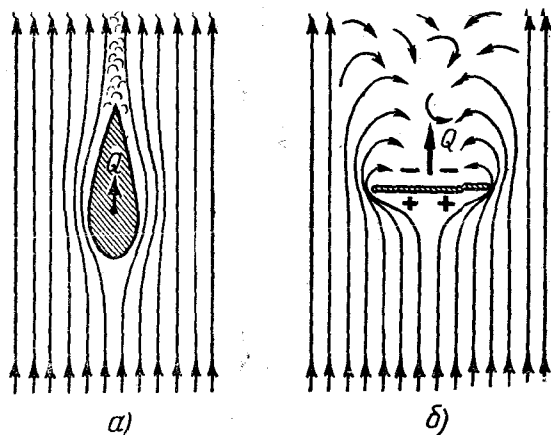


Рис. 42

Для того чтобы понять причины возникновения этой силы, рассмотрим аэродинамический спектр<sup>1</sup> обтекания обтекаемого тела и плоской четырехугольной пластинки (рис. 42).

<sup>1</sup> Картина обтекания движущегося тела воздушным потоком.

Из рис. 42, а видно, что тело обтекаемой формы плавно раздвигает частицы воздуха в стороны, нарушая их состояние покоя и создавая позади себя незначительные завихрения.

При движении плоской пластинки картина резко меняется (рис. 42, б). Образование завихрений и, следовательно, разрежения воздуха позади пластинки происходит более интенсивно вследствие плохой обтекаемости тела.

Основной причиной возникновения силы сопротивления воздуха  $Q$  является разность давлений впереди и сзади движущегося тела. Перед телом создается повышенное давление, сзади него — пониженное. Поэтому при симметричном обтекании тела сила сопротивления воздуха  $Q$  будет действовать по оси симметрии тела со стороны большего давления в сторону меньшего давления.

Другой причиной является трение частиц воздуха о поверхность движущегося тела.

Таким образом, чем больше разность давлений впереди и сзади движущегося тела, чем более шероховатую поверхность имеет тело, чем больше размеры тела, тем больше будет величина силы сопротивления воздуха  $Q$ .

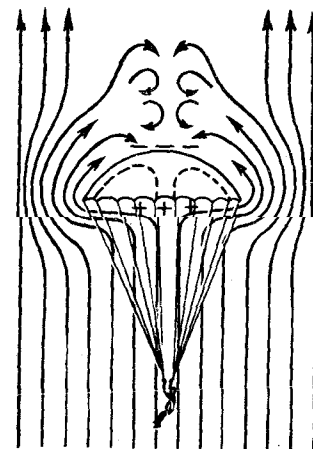


Рис. 43

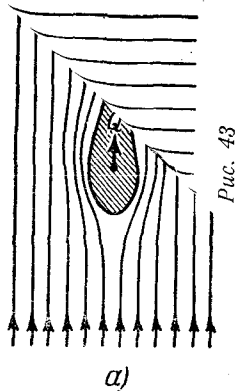
На рис. 43 показан спектр обтекания обычного круглого купола парашюта, который показывает, что воздух обтекает купол со всех сторон, т. е. обтекает не только внешнюю, но и внутреннюю поверхность купола. При этом под куполом создается повышенное давление воздуха, а над ним — разрежение воздуха.

Величина силы сопротивления воздуха в большой мере зависит от скорости движения тела и плотности воздуха. Чем больше скорость, тем сопротивление воздуха больше. Например, увеличение скорости вдвое вызывает возрастание силы сопротивления в 4 раза. При этом совершенно безразлично, движется ли тело в неподвижном воздухе

Величину сопротивления воздуха вычисляют по формуле:

$$Q = c S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (13)$$

где  $Q$  — сила сопротивления воздуха в кг;  
 $c$  — коэффициент сопротивления;  
 $S$  — наибольшая площадь поперечного сечения тела в  $m^2$ ;  
 $\rho$  — массовая плотность воздуха, т. е. масса его, заключенная в единице объема. ( $1 m^3$ ) в  $\frac{kg \cdot сек^2}{m^4}$ ;  
 $V$  — скорость движения тела в  $m/сек$ .



*Puc.* 43

Рис. 42









декация обычного кру-  
т показывает, что воздух  
ли, т. е. обтекает не только  
поверхность купола. При этом  
повышенное давление воздуха,  
де воздуха.

Для того чтобы понять причины возникновения сил, рассмотрим аэродинамический спектр удобообтекаемого тела и плоской четырехугольной стинки (рис. 42).

33

АИТОНОВ

Таблица 1

| Наименование<br>тела   | Форма   | Коэффициент |
|--|---|-------------|
| Плоская<br>пластинка   |    | 1,28        |
| Шар  |    | 0,20        |
| Полусфера  |    | 1,42        |
| Полусфера  |    | 0,34        |
| Удобообтекае-<br>мое тело                                    |    | 0,05        |
| Паращют  |   | 0,9         |
| Паращютист<br>(при падении<br>плашмя, лицом<br>к земле)      |  | 0,28        |
| Паращютист<br>(при падении с<br>наклоном к<br>горизонту 45°) |  | 0,2         |

быть во столько раз больше скорости воздушного потока в реальных условиях (скорости снижения парашюта), во сколько раз размеры модели меньше размеров натурального парашюта.

Значения коэффициентов сопротивления для тел различной формы приведены в таблице 1.

Коэффициент сопротивления для парашюта вычислен не по его миделю (наибольшему поперечному сечению), а по поверхности развернутого купола, величину которого легко определить для каждого типа парашюта.

### ПАДЕНИЕ ПАРАШЮТИСТА В ВОЗДУХЕ

Мы знаем, что при падении тела в безвоздушном пространстве скорость падения пропорциональна времени падения, т. е.

$$V = g t \text{ [м/сек].}$$

Из этой формулы видно, что скорость падающего тела будет тем больше, чем больше время падения, и может увеличиваться беспрестанно.

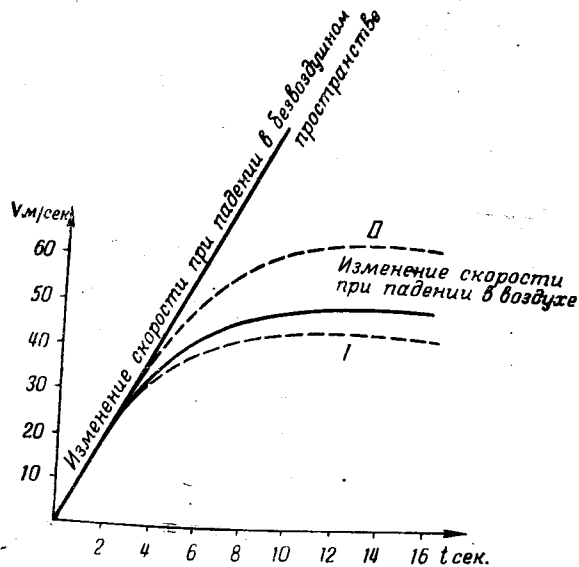


Рис. 44

Скорость тела, падающего в воздухе, не увеличивается беспрестанно потому, что он оказывает сопротивление движущемуся телу и на десятой—одиннадцатой секунде скорость падения становится постоянной (рис. 44), приблизительно равной 50 м/сек.

Это говорит о том, что сила веса парашютиста  $G$  уравнивается силой сопротивления воздуха  $Q$  (рис. 45).

Скорость тела при равенстве силы веса и силы сопротивления воздуха называют равновесной скоростью падения.

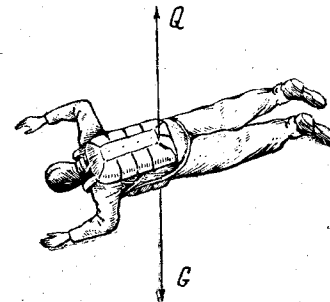


Рис. 45

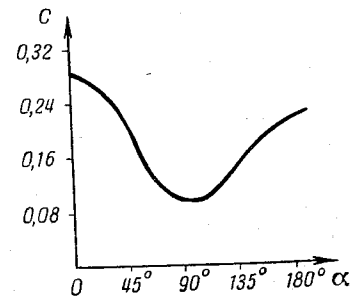


Рис. 46

Величина силы сопротивления, которую испытывает парашютист при свободном падении, определяется по формуле:

$$Q = c l^2 \frac{\rho V^2}{2}, \quad (15)$$

где  $c$  — коэффициент сопротивления парашютиста, зависящий от положения его тела в пространстве (определяется по графику рис. 46);

$l$  — рост парашютиста в м;

$\rho$  — массовая плотность воздуха в  $\text{кг} \cdot \text{сек}^2/\text{м}^4$ ;

$V$  — скорость падения парашютиста в м/сек.

График (рис. 46) показывает зависимость коэффициента сопротивления парашютиста от угла наклона его тела по отношению к горизонту.  $0^\circ$  соответствует падению плашмя лицом к земле,  $90^\circ$  — падению вниз головой и  $180^\circ$  — падению плашмя спиной вниз.

Как видно из графика, при падении спиной вниз коэффициент сопротивления немного меньше, чем при падении лицом к земле. Это объясняется тем, что в первом случае (рис. 47, а) главный парашют плавно разделяет воздушный поток, а запасный парашют способствует уменьшению завихрений позади падающего парашюта и это уменьшает коэффициент сопротивления по сравнению со случаем падения плашмя лицом к земле (рис. 47, б).

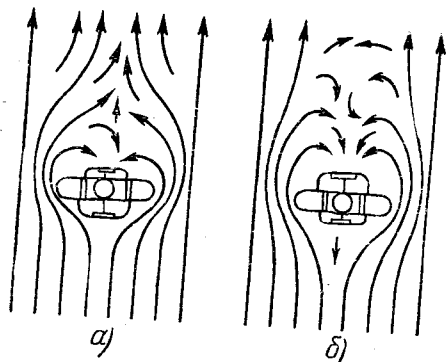


Рис. 47

Посмотрим, в каких пределах изменяется скорость падения в зависимости от положения тела парашютиста.

После наступления равновесной скорости (когда сопротивление равно весу тела  $G$ ), можно написать:

$$G = Q = c l^2 \rho \frac{V^2}{2} \quad (16)$$

Из этой формулы определим скорость падения парашютиста, вес которого  $G = 90 \text{ кг}$  (с парашютами), рост  $l = 1,7 \text{ м}$ , массовая плотность воздуха  $\rho = 0,125$  и коэффициент сопротивления  $c = 0,24$  (соответствующий положению тела плашмя к земле):

$$V = \sqrt{\frac{2G}{c l^2 \rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 90}{0,24 \cdot 1,7^2 \cdot 0,125}} = 45 \text{ м/сек.}$$

Если парашютист падает с углом наклона тела, близким к  $90^\circ$ , то при этом  $c = 0,12$  и

$$V = \sqrt{\frac{2G}{c l^2 \rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 90}{0,12 \cdot 1,7^2 \cdot 0,125}} \approx 65 \text{ м/сек.}$$

Таким образом, изменяя угол наклона своего тела к горизонту одновременным выставлением рук вперед или подбиранием их ближе к телу, парашютист имеет воз-

можность изменять величину равновесной скорости падения (рис. 44, кривые I и II).

Величина равновесной скорости зависит не только от положения тела парашютиста по отношению к набегающему потоку воздуха и степени его обтекаемости, но и от высоты, на которой происходит падение. Например, на высоте 7—8 км скорость парашютиста вследствие уменьшения плотности воздуха при падении достигает 80 м/сек, а на высоте 12—13 км — 100 м/сек. Однако по мере приближения к земле скорость падения уменьшается до величины, приблизительно равной 50 м/сек, независимо от высоты, с которой парашютист начал падение.

### ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ПРИ СВОБОДНОМ ПАДЕНИИ ПАРАШЮТИСТА

При свободном падении парашютист, управляя своим телом, имеет возможность перемещаться в горизонтальном направлении.

Направление перемещения может быть выбрано любое, в зависимости от желания парашютиста. Причину горизонтального перемещения можно объяснить следующим примером. Если плоская пластинка при падении занимает горизонтальное положение, то обтекание ее воздухом происходит симметрично относительно вертикаль-

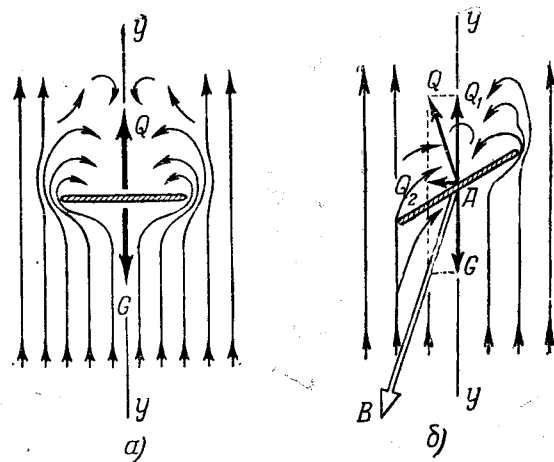


Рис. 48

ной оси  $y - y$ , а сила сопротивления воздуха  $Q$  направлена в сторону, противоположную движению (рис. 48, а).  
 При падении пластинки, занимающей наклонное положение к горизонту, сила сопротивления воздуха  $Q$  от-

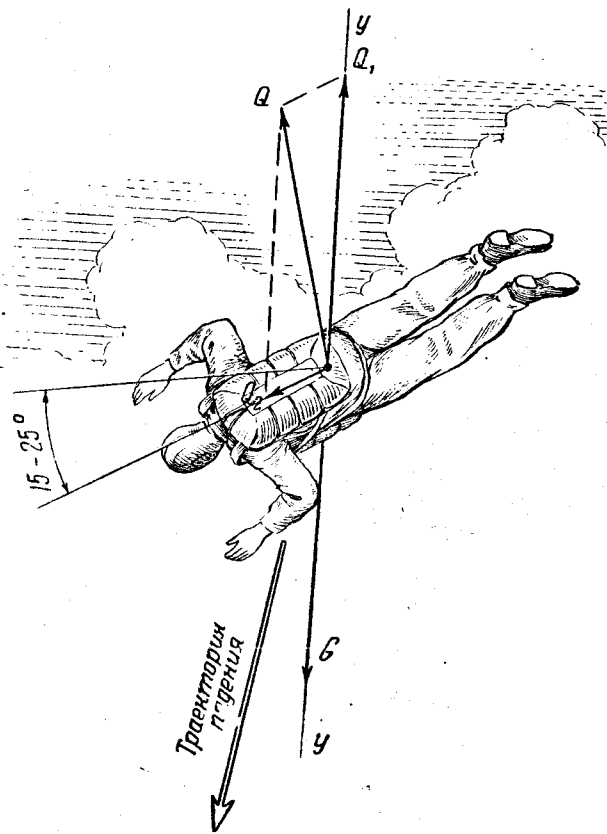


Рис. 49

клоняется от вертикальной оси  $y - y$  вследствие изменения характера аэродинамического спектра (рис. 48, б), а ее составляющая  $Q_2$  вызывает горизонтальное перемещение. При этом пластинка падает уже не вертикально, а по наклонной траектории, направление которой определяется направлением равнодействующей сил  $Q_2$  и  $G$ .

Аналогичное явление происходит и при падении парашютиста. Если парашютист падает без наклона тела, то горизонтального перемещения не будет.

Перед тем как создать своему телу наклон и, следовательно, горизонтальное перемещение, парашютист, наклоняя ладони, разворачивается относительно вертикальной оси  $y - y$  настолько, чтобы верхняя часть его тела оказалась в направлении желаемого перемещения. После этого, чтобы создать горизонтальную составляющую силу сопротивления воздуха  $Q_2$  (рис. 49), надо плавно и одновременно подобрать руки ближе к телу, выпрямить ноги и придать телу угол наклона, равный приблизительно  $15-25^\circ$ . При большем угле наклона значительно увеличивается вертикальная скорость, а падение становится менее устойчивым и более утомительным.

Чтобы прекратить горизонтальное перемещение, надо руки плавно выставить вперед, ноги слегка согнуть в коленях и благодаря этому снова придать телу горизонтальное положение.

### СУММАРНАЯ СКОРОСТЬ ПАДЕНИЯ

После отделения от самолета парашютист перемещается в двух направлениях: вертикально вниз и по направлению полета самолета. Вертикально вниз парашютист движется под действием силы тяжести, а по направлению полета — под действием силы инерции. Геометрическое сложение вертикальной скорости  $V_v$  и горизонтальной скорости  $V_g$  дает величину суммарной скорости парашютиста  $V_{\text{сум}}$ , которая определяет траекторию парашютиста относительно земли, а также величину нагрузки при раскрытии парашюта (рис. 50). Чем больше величина сум-

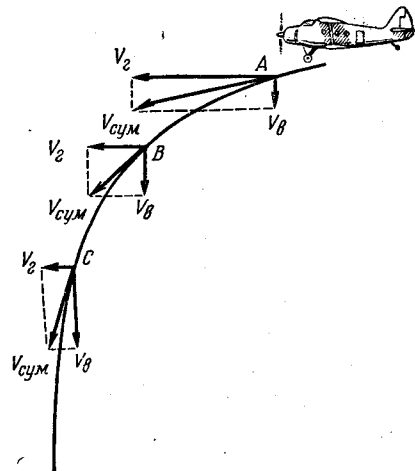


Рис. 50



марной скорости, тем больше нагрузка на парашют при его раскрытии и больше перегрузка (своеобразное утяжеление тела, связанное с сообщенным ему ускорением, равное отношению суммы внешних сил, действующих на данное направление, за исключением силы тяжести, к весу тела, т. е.  $n = \frac{\sum R}{G}$ ), действующая на организм парашютиста. Поэтому необходимо знать характер изменения величины суммарной скорости падения  $V_{\text{сум}}$  после отделения парашютиста от самолета.

Из рис. 50 видно, что после отделения от самолета (условно считается самолет неподвижным, а воздух — перемещающимся относительно него) большую величину имеет горизонтальная составляющая  $V_2$  (рис. 50, точка А), затем происходит

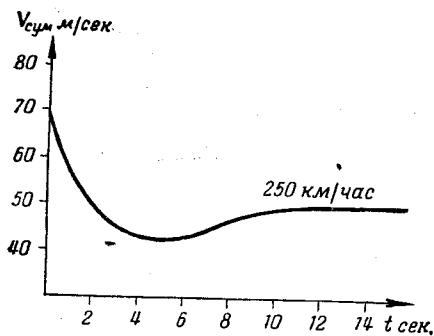


Рис. 51

увеличение вертикальной скорости  $V_v$  и уменьшение горизонтальной  $V_g$ , причем горизонтальная скорость уменьшается вследствие сильного торможения встречным потоком воздуха быстрее, чем нарастает вертикальная скорость падения.

Поэтому в точке В суммарная скорость  $V_{\text{сум}}$  будет меньше, чем в точке А, а в точке С она снова возрастет из-за увеличения вертикальной скорости  $V_v$ .

На рис. 51 показан типичный график изменения величины суммарной скорости парашютиста  $V_{\text{сум}}$  после отделения от самолета на скорости 250 км/час.

Из графика видно, что для уменьшения нагрузки на парашют при раскрытии, его необходимо открывать по истечении пяти секунд, когда суммарная скорость имеет наименьшую величину. При увеличении задержки раскрытия парашюта суммарная скорость постепенно возрастает до равновесного значения.

В таблице 2 приведены величины наивыгоднейших за-

держек раскрытия парашюта при отделении от самолета, летящего на различных скоростях.

Таблица 2

Значения наивыгоднейших задержек раскрытия парашюта на высоте прыжка до 4000 м

| Скорость самолета в км/час     | 100 | 140 | 180 | 200 | 250 | 300 | 400 |
|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Наивыгоднейшая задержка в сек. | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 5,5 | 6   |

### СКОРОСТЬ СНИЖЕНИЯ НА ОДНОМ И НА ДВУХ ПАРАШЮТАХ

При установившемся снижении парашютиста его сила тяжести уравнивается силой сопротивления, созданной куполом парашюта. Поэтому можно написать, что

$$G = Q = c S \frac{\rho V^2}{2}, \quad (17)$$

где  $G$  — сила веса парашютиста (с парашютами) в кг,  $c$  — коэффициент сопротивления купола парашюта;

$S$  — поверхность парашюта в  $\text{м}^2$ ;

$\rho$  — массовая плотность воздуха;

$V$  — скорость снижения парашюта в м/сек.

Формулу (17) можно преобразовать для определения скорости снижения парашюта:

$$V = \sqrt{\frac{2G}{c S \rho}} \quad [\text{м/сек}]. \quad (18)$$

Из формулы видно, что скорость снижения парашюта будет тем меньше, чем меньше вес парашютиста и чем больше коэффициент сопротивления, поверхность купола и массовая плотность воздуха.

При снижении на двух парашютах (рис. 52) скорость снижения зависит от поверхности куполов и от углов развала парашютов<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Углом развала называется угол, заключенный между осями симметрии главного и запасного парашютов, т. е. угол  $\alpha + \beta$ .

Для увеличения скорости снижения необходимо увеличить углы  $\alpha$  и  $\beta$ , т. е. увеличить угол развала между куполами.

Поэтому, чтобы увеличить скорость снижения, парашютист должен подтянуть и удерживать в таком положении внешние лямки запасного парашюта (рис. 53, а).

При этом рабочая поверхность куполов  $A_1$  и  $A_2$ , создающая сопротивление движению, будет уменьшена.

Чтобы уменьшить скорость снижения, необходимо подтянуть и удерживать в таком положении внутренние лямки запасного парашюта (рис. 53, б).

Формула (17) позволяет решать различные задачи, которые могут встретиться на практике. Например, требуется определить величину груза, который

надо подвесить к пристрелочному парашюту диаметром 1 м для того, чтобы он имел скорость снижения у земли 5 м/сек;  $\rho = 0,125$ ; коэффициент сопротивления такого парашюта меньше обычного. Можно считать  $c = 0,8$ .

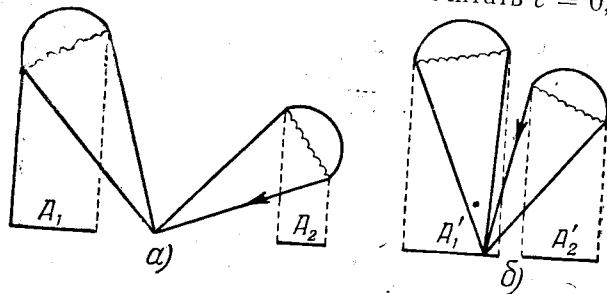


Рис. 53

Находим поверхность парашюта:

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1^2}{4} = 0,79 \text{ м}^2.$$

Общий вес парашюта и груза будет:

$$G = c S \rho \frac{V^2}{2} = 0,8 \cdot 0,79 \frac{0,125 \cdot 5^2}{2} = 0,99 \text{ кг}.$$

Вычитая отсюда вес парашюта, примерно равный 0,15 кг, получим необходимый для подвески груз—0,84 кг.

Для того чтобы проверить величину скорости снижения пристрелочного парашюта, необходимо сбросить его с некоторой высоты.

Скорость снижения определяется по формуле:

$$V = \frac{H-h}{t} \text{ [м/сек]}, \quad (19)$$

где  $H$  — высота сбрасывания парашюта в м;  
 $h$  — высота, которую он теряет при раскрытии (можно считать ее равной 30 м);  
 $t$  — время парашютирования в сек.

Если окажется, что скорость снижения отличается от заданной, необходимо изменить вес груза.

## О ВОСХОДЯЩИХ ПОТОКАХ

Скорость снижения парашютиста в нормальных условиях в среднем равна 5—6 м/сек. Но бывают случаи, когда вследствие неравномерного нагревания земной поверхности возникают восходящие потоки воздуха, которые иногда достигают такой интенсивности, что ставят парашютиста, попадающего в них, в затруднительное и даже опасное положение (рис. 54).

Если скорость восходящего потока также равна 5—6 м/сек, то парашютист не будет снижаться, а будет находиться на одной высоте, т. е. парить в воздухе. При большей скорости потока парашютист поднимается вверх.

Скорость восходящего термического потока зависит главным образом от разности температур восходящего теплого воздуха и воздушной среды, окру-

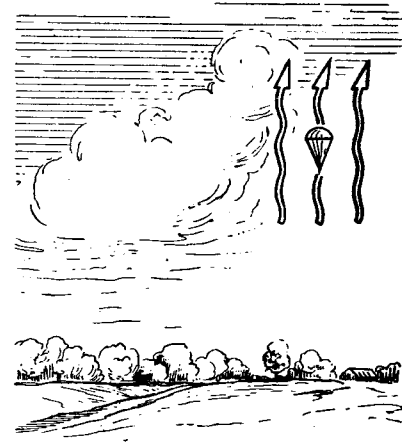


Рис. 54

жающей его. Так, например, при разности температур в 2—3° скорость восходящего термического потока может достигнуть 5—6 м/сек.

Восходящие потоки очень часто имеют значительную силу вблизи кучевых облаков. Поэтому у таких облаков не следует раскрывать парашют, так как это может вызвать увеличение нагрузки на парашют при его раскрытии и увеличить перегрузки, действующие на парашютиста.

Парашютист может также попасть и в нисходящие потоки воздуха, которые чаще всего бывают над водными и лесными массивами. Поэтому при выполнении прыжков с парашютом следует учитывать метеорологическую обстановку, характер местности, над которой будут выполняться прыжки, а также время суток, так как восходящие и нисходящие потоки чаще всего возникают в полуденные часы.

### СКОРОСТЬ ПАРАШЮТИСТА ПРИ ПРИЗЕМЛЕНИИ

Если парашютист выполняет прыжок на парашюте с круглым куполом при отсутствии ветра, то скорость его снижения будет направлена строго вертикально.

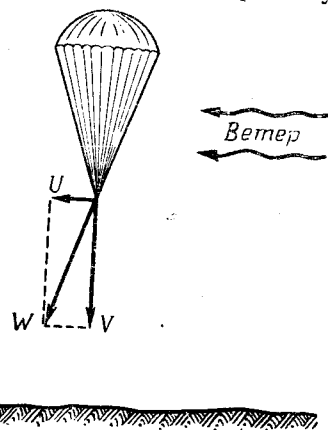


Рис. 55

Но так бывает сравнительно редко. Чаще всего на парашютиста при снижении действует ветер, скорость и направление которого могут изменяться в значительных пределах. В таких случаях суммарная скорость снижения  $W$ , определяющая также и скорость парашютиста при приземлении, геометрически складывается из скорости снижения  $V$  и скорости ветра  $U$  (рис. 55).

Ее величина может быть определена по формуле:

$$W = \sqrt{V^2 + U^2} \quad [\text{м/сек}], \quad (20)$$

где  $W$  — суммарная скорость парашютиста;  
 $V$  — скорость его снижения;  
 $U$  — скорость ветра.

При снижении парашюта, имеющего квадратную форму, из-за действия главного киля создается перемещение парашюта по горизонту со скоростью  $\Delta U \approx 2 \text{ м/сек}$ , направление которой зависит от положения купола парашюта.

Чем больше суммарная скорость, тем сильнее удар парашютиста о землю. Поэтому при приближении к земле парашютист, управляя куполом парашюта, должен уменьшить свою горизонтальную (и, следовательно, суммарную) скорость и тем самым обеспечить безопасное приземление.

### УДАР ПРИ ПРИЗЕМЛЕНИИ

Силу  $F$  удара парашютиста о землю при приземлении можно приближенно определить по формуле:

$$F = \frac{mW^2}{2l} = \frac{m}{2l} (V^2 + U^2) \quad [\text{кг}], \quad (21)$$

где  $m$  — масса парашютиста в  $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$ ;

$V$  — скорость снижения парашютиста в м/сек;

$U$  — горизонтальная скорость парашютиста в м/сек;

$l$  — расстояние в м, во время прохождения которого происходит погашение скорости движения (т. е. расстояние перемещения центра тяжести парашютиста при погашении скорости).

При протаскивании парашютиста формула (21) примет вид:

$$F = \frac{m}{2l} [V^2 + (U - U_1)^2],$$

где  $U_1$  — скорость протаскивания.

Чем больше  $l$ , тем больше время погашения скорости.

Из формулы (21) видно, что сила удара зависит от количества энергии, которую теряет парашютист, и от времени ее потери (определяемого расстоянием  $l$ ).

Зная силу удара и вес парашютиста, можно опреде-

лить среднюю перегрузку, действующую на него при приземлении:

$$n = 1 + \frac{F}{G} = \frac{R}{G}, \quad (22)$$

где  $n$  — перегрузка;

$F$  — сила удара в кг;

$G$  — вес парашютиста в кг;

1 — учет силы тяжести.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Какими причинами объясняется возникновение силы сопротивления воздуха?
2. Объясните формулу для определения величины силы сопротивления воздуха.
3. Как определяется величина коэффициента сопротивления модели парашюта?
4. Чем отличается падение тел в воздухе от падения в пустоте?
5. Что называется равновесной скоростью падения парашютиста? От каких факторов она зависит и по какой формуле определяется?
6. Чем объясняется горизонтальное перемещение при свободном падении парашютиста?
7. Каков характер изменения суммарной скорости падения парашютиста?
8. Как определяется скорость снижения парашютиста?
9. Какое влияние оказывают восходящие и нисходящие потоки на выполнение парашютных прыжков?
10. От чего зависит скорость парашютиста при приземлении и как ее определить?
11. Что называется ударом и как определить его величину при приземлении парашютиста?
12. Как определяется перегрузка, действующая на парашютиста в момент приземления, и от чего она зависит?

### Задачи

1. Определить силу сопротивления, которую создает парашют при снижении со скоростью 7 м/сек, если площадь купола равна 42,5 м<sup>2</sup>, коэффициент сопротивления  $c = 0,8$  и массовая плотность воздуха  $\rho = 0,125$ .
2. Найти вес парашютиста, спускающегося на парашюте со скоростью 5 м/сек, если площадь купола равна 70 м<sup>2</sup>, коэффициент сопротивления  $c = 0,9$  и массовая плотность воздуха  $\rho = 0,12$ .

3. Какова величина коэффициента сопротивления модели парашюта, продуваемой в аэродинамической трубе со скоростью 50 м/сек, если сила сопротивления воздуха, замеренная на аэродинамических весах, равна 1000 кг, площадь купола  $S = 7$  м<sup>2</sup> и массовая плотность воздуха  $\rho = 0,125$ ?

4. По графику (рис. 44) определить скорость падающего тела в воздухе и в безвоздушном пространстве по истечении 4, 6 и 8 секунд.

5. Какую равновесную скорость падения будет иметь парашютист весом 100 кг, если его рост 1,75 м, массовая плотность воздуха  $\rho = 0,12$ , а угол наклона тела к горизонту  $\alpha \approx 20^\circ$ ?

6. С каким углом наклона тела к горизонту падает парашютист весом 80 кг, если его равновесная скорость падения равна 53 м/сек, массовая плотность воздуха  $\rho = 0,11$ , а рост парашютиста 1,6 м?

7. Какая средняя нагрузка действует на парашютиста при раскрытии парашюта, если он отделился от самолета на скорости 250 км/час и сделал задержку 5 сек.? Время раскрытия парашюта 2 сек., скорость снижения после раскрытия парашюта 5 м/сек (для решения воспользоваться графиком, изображенным на рис. 51).

8. Для условия предыдущей задачи найти величину средней перегрузки, если парашют раскрывается через 1 сек. после отделения от самолета. Время раскрытия парашюта 1 сек.; скорость снижения после раскрытия парашюта 4 м/сек.

9. С какой скоростью снижается парашютист весом 110 кг на парашюте, имеющем площадь купола 60 м<sup>2</sup>? Коэффициент сопротивления парашюта  $c = 0,9$ ; массовая плотность воздуха  $\rho = 0,123$ .

10. Какой груз надо подвесить к пристрелочному парашюту диаметром 0,75 м, для того чтобы скорость его снижения у земли была равна 4,7 м/сек?  $\rho = 0,125$ ;  $c = 0,75$ ; вес купола 150 г?

11. Какую поверхность должен иметь парашют, чтобы скорость снижения парашютиста весом 80 кг (с парашютами) была равна 5 м/сек?  $c = 0,9$ ;  $\rho = 0,125$ .

12. Для парашюта диаметром 3 м надо получить скорость снижения 10 м/сек при нормальных условиях, если  $c = 0,8$  и вес купола 1 кг. Определить величину груза.

13. Какова скорость снижения пристрелочного парашюта, сброшенного с высоты 1000 м, если время его парашютирования 210 сек?

14. Какую горизонтальную скорость имеет парашютист, если его скорость снижения равна 4 м/сек, а суммарная скорость 5 м/сек?

15. Определить величину перегрузки, действующей на парашютиста, имеющего скорость снижения 5 м/сек при приземлении в следующих случаях (ветра нет):

а) парашютист приземляется на прямые ноги без подгибания; перемещение его центра тяжести  $l = 0,08$  м (вследствие упругости суставов и изгиба позвоночника);

б) парашютист приземляется на ноги с последующим подгибанием;  $l = 0,3$  м;

в) парашютист после соприкосновения ногами с землей падает на землю;  $l \approx 1$  м.

16. Для условия предыдущей задачи найти величину перегрузки, действующей на парашютиста в случае приземления при ветре, скорость которого равна 5 м/сек.

### ГЛАВА III

## УПРАВЛЕНИЕ КУПОЛОМ ПАРАШЮТА

Возможность управления куполом парашюта была теоретически обоснована и практически доказана только недавно.

В настоящее время советские парашютисты своими выдающимися успехами при прыжках на точность приземления полностью подтвердили практическую ценность управления парашютом.

Управление куполом парашюта позволяет увеличивать или уменьшать относительную скорость парашютиста, изменять направление движения, приземляться в заранее намеченном месте. Поэтому прыжки с парашютом на точность приземления теперь являются одним из наиболее сложных и увлекательных видов парашютного спорта.

Парашютист, ставя перед собой задачу приземлиться в заранее намеченном месте, должен сделать предварительный расчет прыжка, т. е. определить относительную скорость парашютиста ветром, среднюю скорость и направление ветра в слое воздуха от поверхности земли до высоты сбрасывания, или графическое построение проекции траектории парашютиста при его снижении в зависимости от изменения скорости и направления ветра по высотам.

Но как бы точно ни был сделан расчет прыжка, действительная метеорологическая обстановка, в которой выполняется прыжок, почти всегда отличается от обстановки, для которой производится предварительный расчет. Поэтому парашютист, сделав правильный предварительный расчет и покинув самолет над расчетной точкой,

должен вместе с тем во время снижения корректировать свой относ, вводить в него соответствующие поправки. Как показывает опыт, парашютист, управляя парашютом, при снижении может переместиться в любом направлении на величину, равную 20—25 процентам высоты, которой начато снижение.

Умение управлять куполом имеет большое значение при выполнении вынужденных прыжков, а также при выброске воздушных десантов, когда парашютисты могут оказаться над местностью, не гарантирующей безопасное приземление.

Хорошо управлять куполом может лишь парашютист с отличной теоретической подготовкой, обладающий хорошим физическим развитием и достаточной тренировкой.

### УПРАВЛЕНИЕ ПАРАШЮТОМ С КРУГЛЫМ КУПОЛОМ

Управлять парашютом с круглым куполом благодаря симметричности его формы значительно проще, чем с квадратным, но уточнять расчет на парашюте с круглым

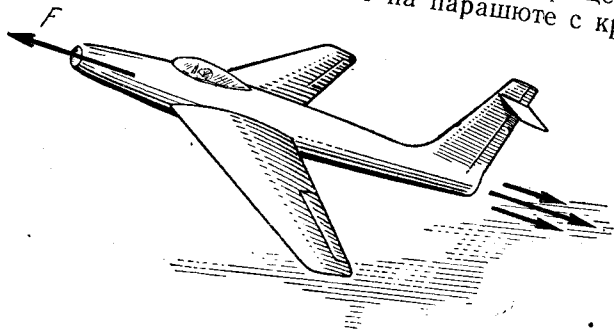


Рис. 56

куполом удастся в меньших пределах, чем на парашюте с квадратным куполом. Недостатками парашюта с круглым куполом являются малая его устойчивость (появление раскачивания) при управлении, а также возможное вращение, возникающее при продолжительном управлении.

Вращение купола могут вызывать и другие причины, например, небрежная подгонка подвесной системы, неодн-

наковый выпуск свободных концов подвесной системы, неравномерная вытяжка строп, ткани купола и т. п.

Сущность управления куполом состоит в том, что при натяжении одной и, особенно, двух лямок подвесной системы создается наклон купола в сторону натянутых лямок почти без искажения его формы. При этом происходит изменение характера аэродинамического спектра обтекания парашюта, что вызывает появление реактивной силы.

Подобно реактивному самолету (рис. 56), у которого реактивная сила  $F$  создается отбрасыванием газов из вы-

хлопного сопла, у парашюта с наклонным куполом реактивная сила  $F_1$  создается благодаря выходу воздуха со стороны поднятой его части (рис. 57). Эта реактивная сила, приложенная к противоположной, опущенной части купола, вызывает горизонтальное перемещение парашюта в сторону натянутых лямок (опущенной части купола).

Наибольшее горизонтальное перемещение может быть достигнуто при мелком скольжении, соответствующем подтягиванию двух групп строп (двух лямок), на 0,5—0,6 м. При этом миделево сечение купола уменьшается всего на 2—3 процента, что дает увеличение вертикальной скорости снижения на 0,1—0,2 м/сек в зависимости от веса парашютиста.

Рассмотрим аэродинамический спектр обтекания купола парашюта при горизонтальном и наклонном положениях основания купола.

При горизонтальном положении основания купола давление воздушного потока распределяется по всей его

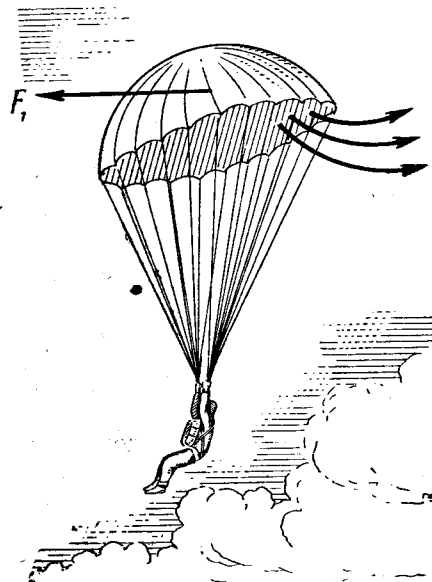


Рис. 57

внутренней поверхности равномерно (рис. 58). Равнодействующая сил давления воздуха на левую часть купола  $A$  в этом случае уравнивает равнодействующую сил давления воздуха на правую часть купола  $A_1$ .

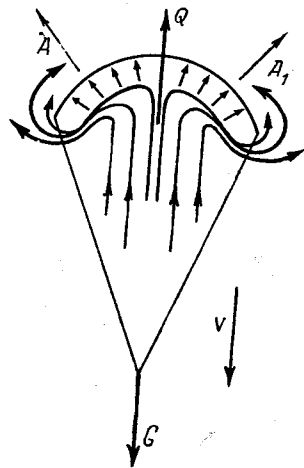


Рис. 58

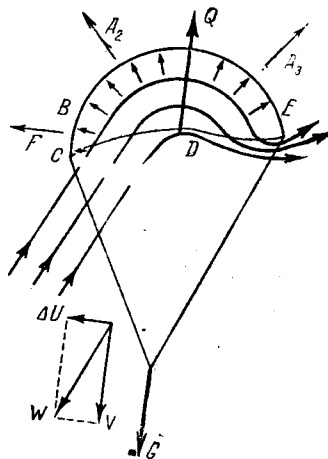


Рис. 59

При отсутствии ветра парашютист снижается вертикально с постоянной скоростью  $V$ , а при ветре  $U$  — относительно по ветру с его скоростью.

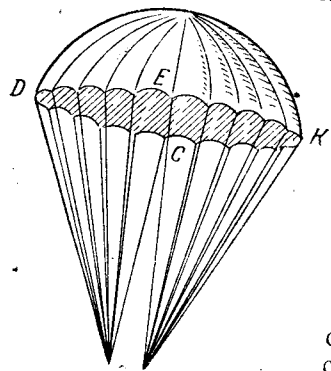


Рис. 60

При наклоне купола симметричное обтекание его нарушается (рис. 59). Воздух из-под купола выходит со стороны поднятой части, создавая реактивную силу, приложенную на противоположной, опущенной части купола  $DEKC$  (рис. 60). При этом сила  $A_2$  уравнивает силу  $A_3$ . Давление воздуха на поверхность купола  $DEKC$  создаст реактивную силу или силу тяги  $F$ . Возникшее под действием реактивной силы горизонталь-

ное перемещение парашюта со скоростью  $1,5-2$  м/сек изменяет направление суммарной скорости снижения  $W$  и, следовательно, направление набегающего на купол воздушного потока.

Таким образом, для горизонтального перемещения парашюта в каком-либо направлении необходимо создать мелкое скольжение, подтянув и удерживая в таком положении одну или лучше две лямки подвесной системы, расположенные в стороне желаемого перемещения.

Подтягивая лямки, нужно следить за нижней кромкой подтягиваемой части купола: если эта кромка начинает подгибаться внутрь купола, то лямки следует слегка отпустить до ее выправления.

Если же продолжать подтягивать лямки и после подгибания нижней кромки, то это приведет не к увеличению, а к уменьшению горизонтального перемещения и увеличению вертикальной скорости снижения.

При подтягивании лямок реактивная сила, увеличиваясь, перемещает купол с возрастающей скоростью (процесс возрастания горизонтальной скорости при подтягивании лямок происходит очень быстро). Возрастает и сопротивление воздушной массы куполу парашюта.

Когда реактивная сила становится равной сопротивлению купола, наступает равномерное движение (рис. 61). Дальнейшее подтягивание лямок вызывает рост сопротивления купола и, как следствие, подгибание нижней кромки, без увеличения реактивной силы  $R = Q$ .

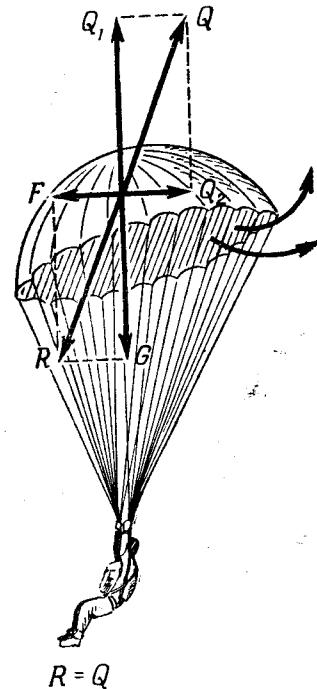


Рис. 61



## РАЗВОРОТЫ ПАРАШЮТА С КРУГЛЫМ КУПОЛОМ

При управлении куполом парашютист должен уметь разворачивать его в ту или иную сторону для облегчения управления и лучшего визирования на точку приземления. Для этого он должен подтягивать одну из лямок несильнее другой. Так, например, для разворота купола вправо он должен больше подтянуть левую переднюю лямку и, наоборот, для разворота влево — больше подтянуть правую переднюю лямку. Купол парашюта при управлении им, как правило, всегда вращается. Чем равномернее натянуты лямки, тем медленнее вращение, но все же оно неизбежно.

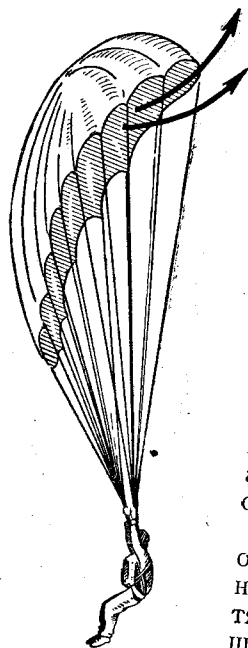


Рис. 62

Парашютисту, стремящемуся как можно дольше перемещаться в горизонтальном направлении, при вращении купола не выгодно возвращать его в исходное положение за счет большего подтягивания одной из лямок, так как неодинаковое подтягивание лямок приводит к уменьшению горизонтального перемещения, а следовательно, и к уменьшению отброса.

В этом случае выгоднее плавно отпустить лямку, вышедшую из нужного направления, и поочередно подтягивать ту лямку, которая при вращении купола оказывается в направлении нужного перемещения.

Таким образом, парашютист должен стремиться к тому, чтобы кромка купола была все время подтянута в ту сторону, куда парашютисту нужно перемещаться.

Если создавать не мелкое, а глубокое скольжение, то не удастся увеличить отброс парашютиста, так как при этом значительно уменьшается миделево сечение парашюта (рис. 62), что вызывает увеличение скорости снижения.

Глубокое скольжение приводит к уменьшению горизонтального перемещения и вызывает вращение купола, поэтому его следует применять лишь в том случае, когда требуется значительно уменьшить отброс парашютиста, а не увеличить его.

## ОРИЕНТИРОВКА ПРИ СНИЖЕНИИ

Большую роль при управлении куполом играет умение парашютиста правильно ориентироваться, т. е., находясь в воздухе, как можно точнее определять направление отброса, высоту и скорость перемещения.

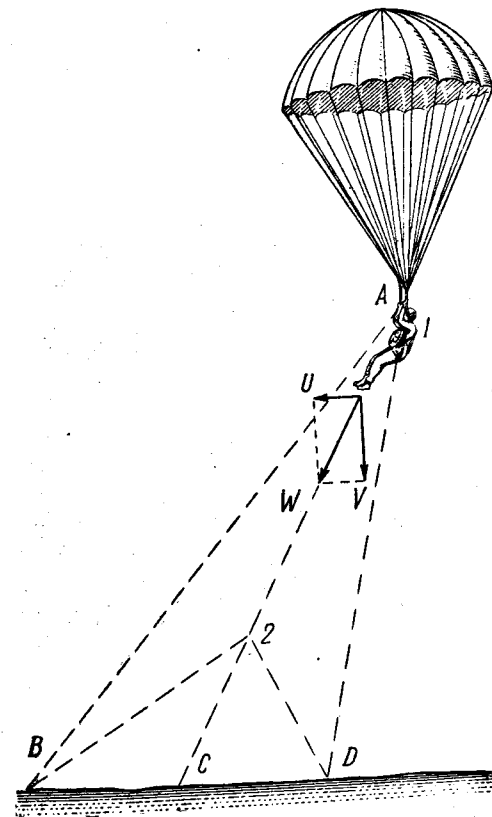


Рис. 63

Глубокое скольжение приводит к уменьшению горизонтального перемещения и вызывает вращение купола, поэтому его следует применять лишь в том случае, когда требуется значительно уменьшить отброс парашютиста, а не увеличить его.

Паращютист должен постоянно контролировать свой относ и своевременно определять, произойдет ли приземление с недолетом или с перелетом, не смещается ли линия пути от желаемого направления. Это можно осуществить при помощи правильно выбранной линии визирования, которая представляет собой линию зрения парашютиста, направленную под определенным углом какую-либо точку на земной поверхности.

Как видно из рис. 63, правильной линией визирования является линия  $AC$ , совпадающая с направлением сум-

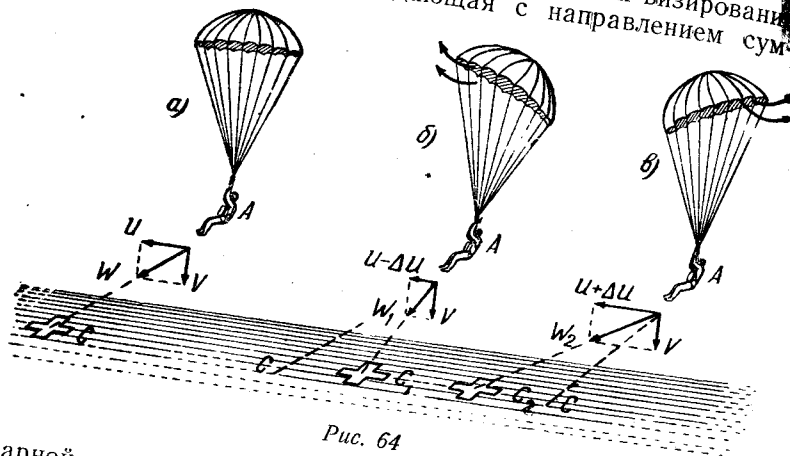


Рис. 64

марной скорости снижения. По этой линии парашютист при постоянной горизонтальной скорости приближается к земле и должен приземлиться в точке  $C$ .

При средней величине горизонтальной скорости 3—5 м/сек линия  $AC$  должна проходить через запасный парашют и носки ног на точку приземления  $C$ , визировать которую парашютист может, не поворачивая головы и не изменяя направления линии зрения. (Под горизонтальной скоростью парашютиста будем понимать его скорость, полученную под действием ветра и реактивной силы).

Линии  $AB$  и  $AD$  не являются правильными линиями визирования, так как при спуске, визируя на точки  $B$  и  $D$ , парашютист должен постоянно изменять положение головы и направление линии зрения, а приземлиться в этих точках он не сможет, так как суммарная скорость  $W$  не направлена ни к одной из них.

Таким образом, при снижении парашютист, визируя, например, на крест, может определить место приземления. Если линия визирования  $AC$  не смещается с центра креста, то приземление произойдет вблизи креста (рис. 64, а).

Если линия визирования  $AC$  уходит от креста вперед, приземление произойдет с перелетом (рис. 64, б).

Если линия визирования  $AC$  уходит от креста назад, приземление произойдет с недолетом (рис. 64, в).

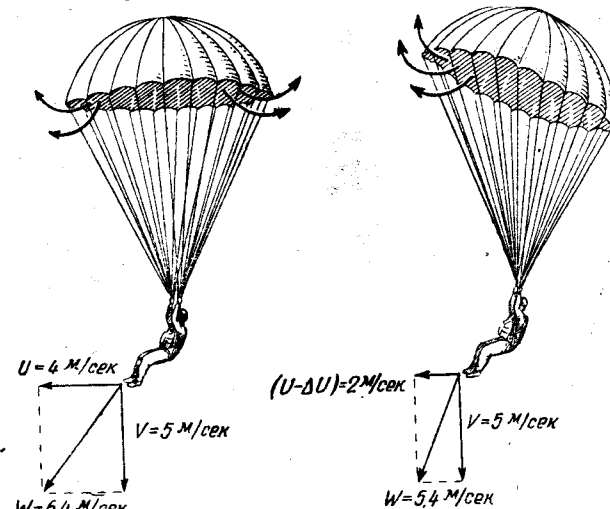


Рис. 65

Паращютист, определив, что линия визирования уходит от креста вперед, должен натяжением задних лямок уменьшить горизонтальную скорость  $U$  до величины  $(U - \Delta U)$ , при которой линия визирования  $AC$  и, следовательно, вектор суммарной скорости  $W$  будут направлены на центр креста (рис. 64).

В том случае, когда линия визирования уходит назад, надо при помощи натяжения передних лямок увеличить горизонтальную скорость  $U$  до величины  $(U + \Delta U)$ , при которой линия визирования и суммарная скорость снижения  $W$  также будут направлены на центр креста.

Необходимо также наблюдать за смещением линии визирования в сторону от желаемого направления пере-

мещения. Парашютист должен использовать возможность управления куполом парашюта и при приземлении. Во всех случаях, когда скорость ветра у земли превышает 2—3 м/сек, необходимо подтягивать лямки против ветра, чтобы уменьшить суммарную скорость снижения  $W$  и, следовательно, удар парашютиста о землю (рис. 65). Лямки необходимо подтягивать на высоте 10—15 м от земли и удерживать их в таком положении до приземления.

### ИЗМЕНЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ОТНОСА

Выше рассмотрены случаи, когда необходимо было изменять величину отбоя по дальности (при приземлении с перелетом и недолетом). Но парашютист, правильно

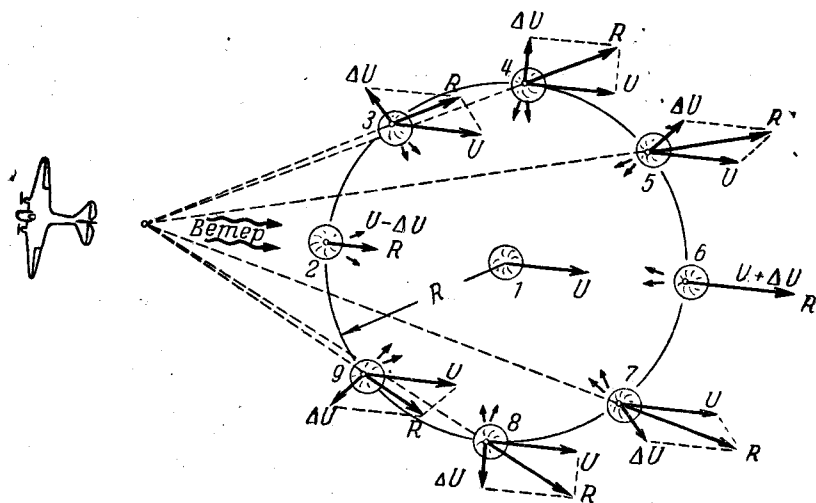


Рис. 66

управляя куполом парашюта, имеет возможность изменять отбоя не только по величине, но и по направлению. На рис. 66 представлена схема изменения отбоя по дальности и по направлению в зависимости от действий парашютиста.

При постоянном направлении и скорости ветра парашютист, не управляя куполом парашюта, приземлится в точке 1.

При подтягивании лямок против ветра и уменьшении величины отбоя парашютист приземлится в точке 2.

При подтягивании лямок по ветру и увеличении величины отбоя парашютист приземлится в точке 6.

Во всех остальных точках (3, 4, 5, 7, 8 и 9) парашютист приземлится в том случае, если он будет создавать натяжением лямок реактивную силу, действующую не в плоскости ветра. (Для всех указанных положений парашютиста имеется в виду создание наибольшей по величине реактивной силы и скорости  $\Delta U = 2$  м/сек.)

Из рис. 66 видно, что парашютист, управляя куполом парашюта, может приземлиться в любой точке круга. Но это произойдет лишь в том случае, если ветер не будет меняться по величине и направлению, а парашютист будет создавать наибольшую реактивную силу в течение всего времени парашютирования.

В зависимости от того, с какой стороны будут натянуты лямки и создана дополнительная горизонтальная скорость относительно скорости ветра  $U$ , будет изменяться не только направление, но и величина суммарной горизонтальной скорости  $R$ , которая может быть и больше и меньше скорости ветра  $U$ .

Каков радиус круга, в котором возможно приземление парашютиста и от чего он зависит, будет сказано ниже.

Если прыжок совершается при ветре, имеющем различную скорость и направление на различных высотах, парашютист (как будет указано в главе IV), пользуясь шаропилотными данными, полученными не раньше чем за полчаса до прыжка, должен определить силу и направление ветра во всей толще атмосферы — от высоты прыжка и до земли. В противном случае он не сможет правильно использовать отбоя по ветру, будет бесполезно тратить силы на управление куполом, а при подходе к кресту окажется в стороне от него на малой высоте.

Очень важно правильно построить план прыжка. Парашютист должен рассчитать подход к условной точке А (рис. 67), находящейся на расстоянии 50—80 м от центра креста с наветренной стороны. Запас высоты должен составлять 60—100 м. В этом случае исключаются грубые

ошибки в расчете и всегда есть возможность внести необходимые поправки.

Рассмотрим пример. Относительная графика, способ, и самолет сбросил парашютиста над точкой  $F$ . Линия  $FKAD$  представляет собой линию пути при снижении парашютиста в случае правильных его действий (верный расчет, точный курс самолета и момент прыжка). Перемещаясь по этой линии, он должен только контролировать по наземным ориентирам свое перемещение к условной точке  $A$  и вносить, если потребуется, необходимые поправки, управляя парашютом.

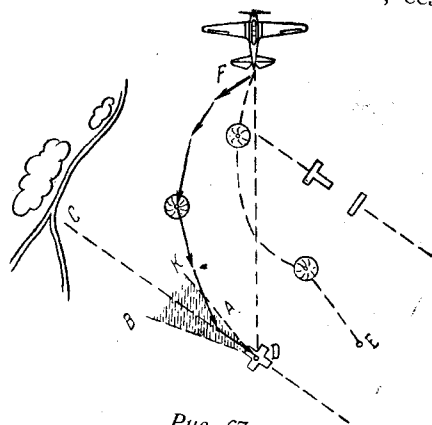


Рис. 67

Линия  $FE$  показывает линию пути при неправильных действиях парашютиста, когда он, не зная изменения ветра по высотам и управляя куполом, стремится перемещаться к месту приземления — точке  $D$  — по кратчайшему пути — по линии  $FD$ . Однако, потеряв высоту, и потеряв высоту, он уже не имеет возможности бороться против ветра, направленного под углом  $60-70^\circ$  к линии желаемого перемещения  $FD$ , и приземляется за кругом в точке  $E$ .

Если парашютист не имеет шаропилотных данных, то после отделения от самолета он должен стремиться войти в плоскость ветра у земли  $DC$ , имея в виду сектор его возможного изменения (сектор  $BDK$ ) на расстоянии  $150-200$  м от центра креста.

Плоскость ветра надо определять при снижении по створу наземных ориентиров (например, центр креста — пересечение дорог, линия  $CD$ ), либо по посадочным знакам.

Войдя в плоскость ветра у земли, парашютист уточняет относительную по дальности и по направлению натяжением соответствующих лямок, определяя точку приземления при помощи правильной линии визирования.

## УПРАВЛЕНИЕ ПАРАШЮТОМ С КВАДРАТНЫМ КУПОЛОМ

Управлять парашютом с квадратным куполом значительно сложнее, чем с круглым, вследствие несимметричности его формы, но уточнять расчет на парашюте с таким куполом можно в гораздо больших пределах.

Особенностью конструкции парашюта с квадратным куполом является наличие главного (большого) кия, из-под которого большие массы воздуха выходят назад, создавая постоянную реактивную силу, перемещающую парашют вперед с горизонтальной скоростью  $1,5-2,0$  м/сек.

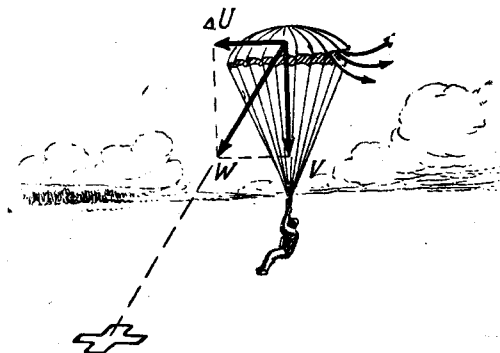


Рис. 68

Парашютист, спускающийся на парашюте с квадратным куполом, даже при отсутствии ветра будет снижаться не вертикально, а по наклонной траектории (вследствие создания реактивной силой горизонтальной скорости  $\Delta U$  (рис. 68)).

Главный киль способствует развороту парашютиста по ветру при изменении его направления и скорости по высотам.

Это особенно ценно тогда, когда прыжок совершает парашютист, не имеющий опыта в управлении куполом парашюта. Из-за действия главного кия он будет приземляться лицом в направлении горизонтального перемещения, так как главный киль конструктивно находится всегда сзади парашютиста.

Таким образом, парашютист всегда имеет возможность, не подтягивая лямок, перемещаться с горизонтальной скоростью  $\Delta U_1 = 1,5-2,0$  м/сек, разворачивая купол

парашюта в желаемом направлении. Но он может также значительно изменять действие реактивного эффекта главного киля, подтягивая две передние или две задние лямки. Если парашютист подтягивает две передние лямки, то купол парашюта наклоняется вперед (рис. 69), коли-

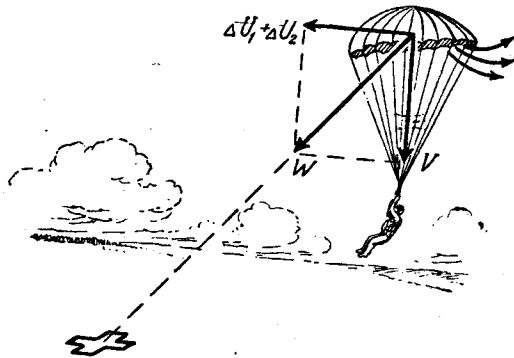


Рис. 69

чество воздуха, выходящего с повышенной скоростью из-под задней кромки, увеличивается и вследствие этого при натяжении передних лямок может быть получена дополнительная горизонтальная скорость  $\Delta U_2 = 1-1,5$  м/сек. Общая же горизонтальная скорость из-за действия главного киля и натяжения передних лямок будет составлять 3—3,5 м/сек.

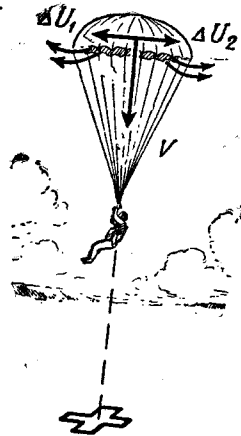


Рис. 70

При натяжении задних лямок купол парашюта наклоняется назад, действие киля ослабевает, а при натяжении лямок на 0,5—0,6 м и вовсе прекращается. Поэтому при натяжении задних лямок парашютист при отсутствии ветра может снижаться строго вертикально (рис. 70).

Ставя киль по ветру или против него, парашютист может изменять величину отбоя, а устанавливая киль вправо или влево, под опреде-

ленным углом к плоскости действия ветра, он может по своему усмотрению изменять не только величину отбоя, но и его направление (рис. 71).

Из рис. 71 видно, что в зависимости от того, в какое положение поставлен главный киль относительно плоскости действия ветра, отбой изменяется подобно тому, как и

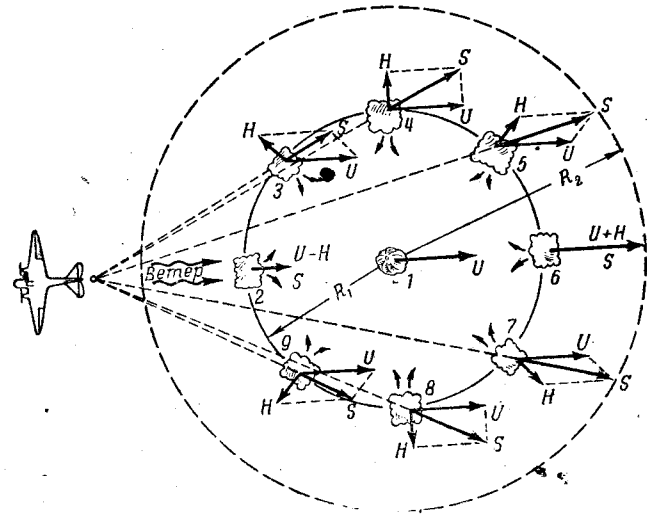


Рис. 71

при управлении парашютом с круглым куполом (см. рис. 66). Величина суммарной горизонтальной скорости  $S$ , которая определяет направление и величину отбоя, может быть больше или меньше скорости ветра  $U$ .

Если же парашютист усиливает реактивный эффект подтягиванием передних лямок, то радиус круга  $R_1$  (рис. 71), в любой точке которого может приземлиться парашютист, увеличивается в полтора раза ( $R_2$ ).

Пределы изменения отбоя парашютиста зависят от высоты прыжка и не зависят от скорости ветра (рис. 72, а, б, в).

При изменении скорости и направления ветра изменяется лишь положение круга, в каждой точке которого может приземлиться парашютист, относительно места желаемого приземления.

## РАЗВОРОТ ПАРАШЮТА С КВАДРАТНЫМ КУПОЛОМ

Паращют с квадратным куполом очень быстро разворачивается вследствие действия реактивной пары сил. Например, для разворота купола влево необходимо подтягивать на  $\sim 0,5$  м и удерживать в таком положении девятую и десятую стропы (крайние стропы правой части передней стороны купола; рис. 73, вид сверху).

Более эффективно купол разворачивался бы при натяжении и 21 и 22-й строп (с противоположной стороны купола); однако сделать это трудно.

Для разворота купола вправо необходимо подтягивать и удерживать в таком положении 13-ю и 14-ю стропы (рис. 74).

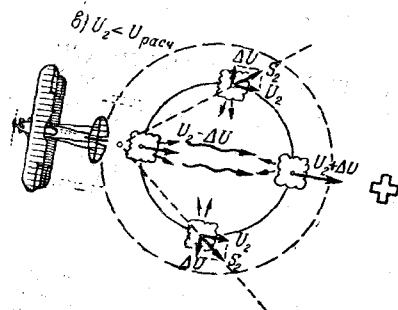
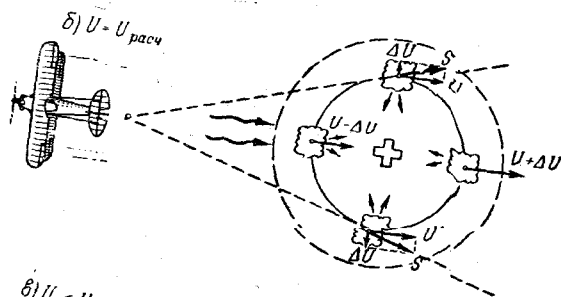
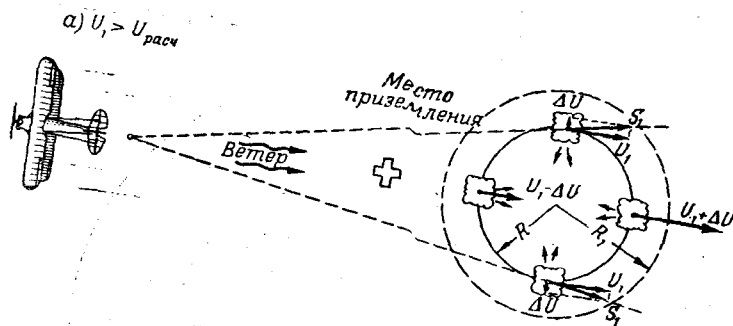


Рис. 72

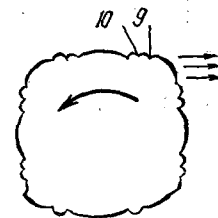


Рис. 73

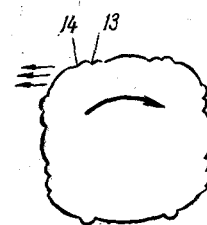


Рис. 74

При разворотах парашюта с квадратным куполом он смещается в сторону от линии прежнего перемещения вследствие действия постоянной реактивной силы главного киль.

Если для предупреждения перелета парашютист устанавливает киль против ветра разворотом купола вправо, то боковое смещение произойдет также вправо от линии прежнего перемещения АВ (рис. 75, а).

Если же для предупреждения недолета парашютист устанавливает киль по ветру разворотом купола вправо, то боковое смещение произойдет влево от линии прежнего перемещения АВ (рис. 75, б).

Для того чтобы после разворота купола против ветра на  $180^\circ$  выйти на линию прежнего перемещения АВ (рис. 75, в), парашютист должен:

а) развернуть купол в какую-либо сторону на  $40-45^\circ$ , например вправо (рис. 75, в);

- б) разворачивать купол в противоположную, левую сторону до тех пор, пока киль не будет установлен против ветра;
- в) в случае необходимости уточнить выход на линию прежнего, желаемого перемещения при помощи натяжения боковых лямок.

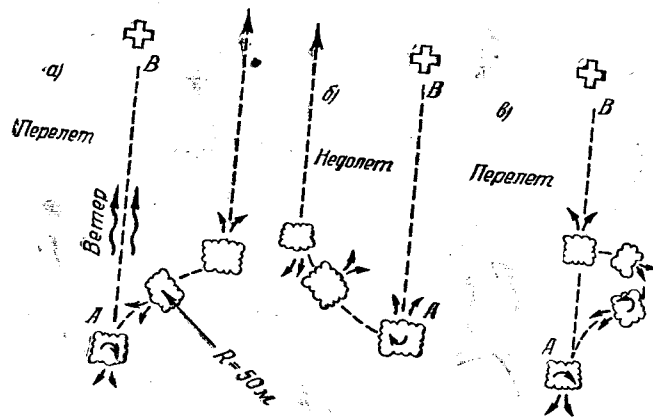


Рис. 75

При развороте киль по ветру на  $180^\circ$  парашютист должен действовать аналогично. Необходимо помнить, что величина бокового смещения зависит от интенсивности разворота. Поэтому очень важно затрачивать как можно меньше времени на разворачивание купола. Этим экономится высота и вводится меньше ошибок в относительном, так как чем медленнее вращается купол, тем большего радиуса он описывает дугу и тем больше парашютист сместится в сторону от избранного направления.

Из рис. 75 следует, что, если направление реактивной силы от действия главного килья и линия пути парашютиста при снижении совпадают с центральной плоскостью ветра (т. е. с плоскостью ветра у земли, проходящей через крест), то при развороте купола в любую сторону на  $180^\circ$  парашютист будет иметь боковое смещение, которое создает ошибки в относительном. Эти ошибки, внесенные в относительном процессе разворота купола, парашютист может исправлять натяжением соответствующих лямок либо стремиться

не допускать их выполнением разворота на  $180^\circ$  в два приема, как было описано выше<sup>1</sup>.

Но часто бывают случаи, когда парашютист может выгодно использовать боковое смещение при разворотах купола для того, чтобы приблизиться к центральной плоскости ветра  $BC$ , в которой должна находиться условная точка

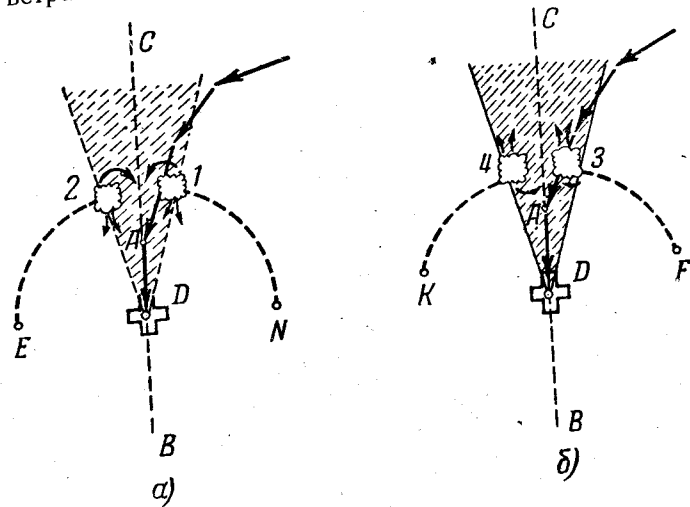


Рис. 76

ка  $A$  (рис. 76). При этом он должен разворачивать купол так (в ту сторону), чтобы реактивная сила от действия главного килья приближала его в процессе разворота к центральной плоскости ветра.

Поясним это на примере. Если парашютист  $1$  (рис. 76,а), перемещаясь к кресту с левой стороны от центральной плоскости ветра, визируя на крест, видит, что приземление произойдет с недолетом (при положении килья против ветра), он должен возможно быстрее поставить киль по ветру разворотом купола влево, для того

<sup>1</sup> Разворот купола на  $180^\circ$  в два приема рекомендуется выполнять в том случае, если парашютист находится вблизи места приземления и не имеет достаточно времени для устранения бокового смещения после разворота. Если же парашютист находится далеко от места приземления, следует сразу, в один прием, развернуть купол на  $180^\circ$ , а затем производить дальнейшее уточнение расчета.



чтобы, используя действие реактивной силы главного киля приблизиться к центральной плоскости ветра  $BC$ .

Параютист 2, приближающийся к кресту с правой стороны от указанной плоскости, в случае недолета должен поставить киль по ветру разворотом купола вправо.

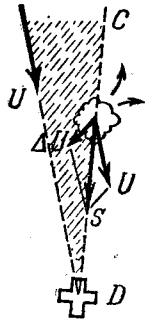


Рис. 77

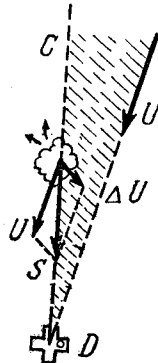


Рис. 78

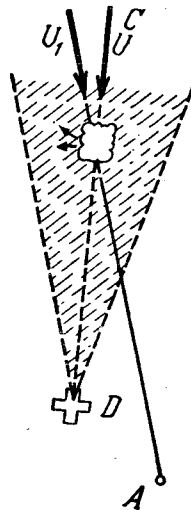


Рис. 79

Если парашютист 1 будет устанавливать киль по ветру разворотом купола вправо, а парашютист 2 — разворотом купола влево, то боковое смещение при развороте и увеличившаяся горизонтальная скорость приведут к тому, что парашютисты 1 и 2 приземлятся далеко от места желаемого приземления в точках  $N$  и  $E$ .

На рис. 76,6 показано, что парашютист 3, приближающийся к кресту с левой стороны от центральной плоскости ветра  $BC$ , установив возможность перелета, должен поставить киль против ветра разворотом купола вправо, чтобы приблизиться к плоскости  $BC$  и погасить перелет. Парашютист 4, приближаясь к кресту с правой стороны от плоскости  $BC$ , должен поставить киль против ветра разворотом купола влево.

При разворотах куполов в стороны, противоположные указанным выше, парашютисты приземляются в точках  $F$  и  $K$ .

Если парашютист, войдя в заранее намеченную плоскость ветра  $DC$ , видит, что ветер изменился, он должен развернуть купол на такой угол в сторону ветра, чтобы суммарная горизонтальная скорость  $S$  была направлена к точке желаемого приземления — точке  $D$  (рис. 77, 78).

Не рекомендуется перемещаться в центральной плоскости ветра боком по отношению к центру креста (рис. 79), погашая действие реактивного эффекта главного киля, так как даже незначительное изменение направления ветра при снижении парашютиста может значительно изменить точность его приземления.

### ПОДХОД К ЦЕЛИ

При прыжках на точность приземления с парашютом, имеющим купол квадратной формы, парашютист должен учитывать постоянную реактивную силу от действия главного киля.

Точка отделения от самолета должна соответствовать предварительному расчету прыжка и быть проверена пристрелочным парашютом, а еще лучше пристрелочным прыжком парашютиста, который, как правило, должен выполнять прыжок с парашютом, имеющим круглый купол.

Если после отделения от самолета главный киль парашюта с квадратным куполом будет установлен по ветру, то вследствие большей его горизонтальной скорости, чем у парашюта с круглым куполом, парашютист приземлится с перелетом.

Если же после отделения от самолета главный киль будет установлен против ветра, то уменьшение отношения парашютиста ветром (вследствие меньшей горизонтальной скорости, чем у парашюта с круглым куполом) приведет к тому, что приземление произойдет с недолетом.

Поэтому после отделения парашютиста от самолета с парашютом, имеющим купол квадратной формы, рекомендуется установить главный киль таким образом, чтобы суммарная горизонтальная скорость была направлена к условной точке  $A$ , расположенной в центральной плоскости ветра  $BC$ ; эту точку парашютист должен мысленно выносить в центральной плоскости ветра тем дальше от креста в сторону, противоположную направлению дей-

вия ветра, чем больше высота, на которой находится парашютист, и чем больше скорость ветра у земли (точки  $A$ ,  $A_1$ ,  $A_2$  на рис. 80).

Определяя направление центральной плоскости ветра, необходимо иметь в виду возможность некоторого изменения ее положения (сектор возможного изменения направления ветра у земли  $EDK$  на рис. 80).

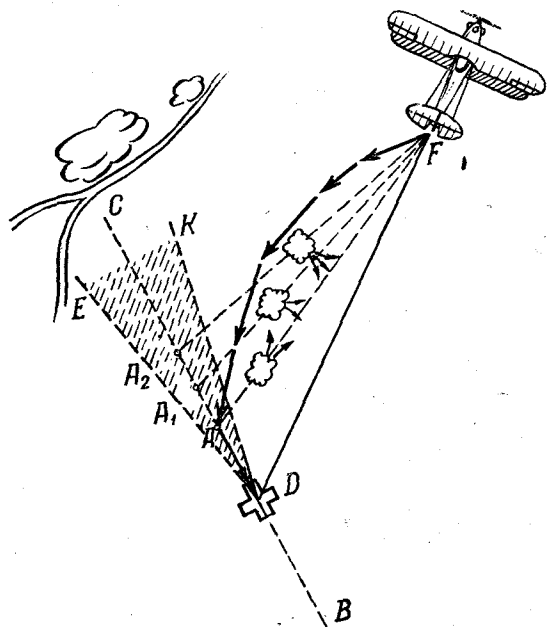


Рис. 80

Желательно намечать условную точку  $A$  с таким расчетом, чтобы перемещаться от нее к кресту с килем, установленным по ветру, уточняя относ натяжением соответствующих лямок. Визировать на крест, перемещаясь к нему боком или спиной, неудобно, и поэтому трудно добиться точного приземления.

Необходимо отметить некоторые особенности групповых прыжков на точность приземления, выполняемых с парашютами, имеющими квадратный купол.

## ОСОБЫЕ СЛУЧАИ

Бывают случаи, когда два парашютиста из-за неправильных действий подходят настолько близко один к другому, что стропы запутываются и парашюты соединяются (рис. 81). Это может привести к тому, что один из куполов начнет складываться. Чтобы предупредить подобное и развести парашюты, оба парашютиста должны подтянуть противоположные лямки. Если же развести парашюты не удастся, оба парашютиста должны нормально снижаться, подтянув и удерживая в таком положении противоположные лямки до самого момента приземления.

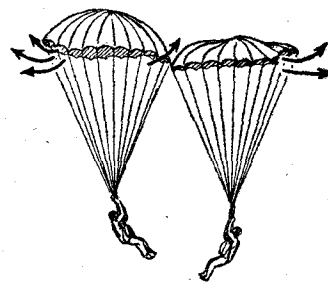


Рис. 81



Рис. 82

Возможны случаи, когда один из парашютистов оказывается над другим парашютистом (рис. 82). При этом верхний парашют может попасть в зону аэродинамического затенения<sup>1</sup> нижнего парашюта и вследствие этого сложиться.

Чтобы предотвратить подобное, верхний парашютист натяжением соответствующих лямок должен немедленно создать дополнительную горизонтальную скорость относительно нижнего парашютиста и быстро отойти от него в сторону.

<sup>1</sup> Зона аэродинамического затенения называется воздушное пространство, в котором наблюдается некоторое течение воздуха вслед за нижней кромкой купола.

После выполнения прыжка каждый парашютист должен проанализировать свои действия при выполнении прыжка, а также действия других парашютистов, выяснить и разобрать допущенные ошибки для того, чтобы при последующих прыжках не повторять их вновь. Только при таком условии и постоянном совершенствовании своих теоретических знаний и практических навыков парашютист может добиться хороших результатов в управлении куполом парашюта и в прыжках на точность приземления.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Какое практическое значение имеет умение правильно управлять куполом парашюта?
2. Почему управлять парашютом с круглым куполом значительно проще, чем с квадратным?
3. На каком парашюте можно уточнять предварительный расчет прыжка в больших пределах? Почему?
4. В чем заключается сущность управления куполом парашюта?
5. При каких условиях можно добиться наибольшей горизонтальной скорости перемещения парашютиста? Как изменится при этом величина вертикальной скорости снижения?
6. Объяснить изменение аэродинамического спектра обтекания парашюта при горизонтальном и наклонном положениях основания купола.
7. Почему при управлении куполом парашюта надо следить за нижней кромкой подтягиваемой части купола?
8. Какие причины вызывают вращение купола при управлении им?
9. Как должен действовать парашютист при появлении вращения купола?
10. Можно ли увеличить относительное снижение парашютиста, применяя глубокое скольжение? Почему?
11. Что называется линией визирования и чем определяется ее правильное направление?
12. Каким способом парашютист может контролировать величину и направление относительного снижения? Как он должен вводить необходимые поправки?
13. Как надо использовать возможность управления куполом парашюта при приземлении парашютиста?
14. Объяснить схему изменения относительного снижения по дальности и по направлению в зависимости от действий парашютиста при управлении круглым куполом.
15. Как должен действовать парашютист в случае, если ветер с изменением высоты меняется по величине и направлению? С какой стороны он должен стремиться войти в круг? Почему?
16. Что является конструктивной особенностью квадратного купола? Что этим достигается?
17. Может ли парашютист усиливать или ослаблять действие реактивного эффекта главного киля? Каким образом?

18. Объяснить схему изменения относительного снижения по дальности и по направлению в зависимости от действий парашютиста при управлении квадратным куполом.

19. Каким способом можно разворачивать квадратный купол в какую-либо сторону?

20. Почему возникает боковое смещение при разворотах квадратного купола? В какую сторону смещается парашютист?

21. Что должен учитывать парашютист, выполняющий прыжок на точность приземления с парашютом, имеющим купол квадратной формы? Где он должен выбрать точку отделения от самолета? Как должен входить в круг?

• 22. Какие особенности имеют прыжки на точность приземления, выполняемые с парашютами, имеющими купол квадратной формы?

23. При какой скорости ветра парашютист, управляя куполом парашюта, может снижаться вертикально:

а) выполняя прыжок с парашютом, имеющим купол круглой формы?

б) выполняя прыжок с парашютом, имеющим купол квадратной формы?

24. Что называется условной точкой? На каком расстоянии от точки приземления она выбирается? Какая высота должна быть у парашютиста, находящегося над условной точкой?

25. Влияет ли скорость ветра на пределы возможного изменения относительного снижения парашютиста при управлении куполом парашюта?

### Задачи

1. Определить относительное снижение парашютиста, если он отделился от самолета на высоте  $H = 1000$  м при скорости ветра 4 м/сек. Скорость снижения парашютиста 5 м/сек. На высоте  $H_1 = 400$  м он увеличил горизонтальную скорость на 2 м/сек, а на высоте  $H_2 = 100$  м уменьшил ее на 1 м/сек. На всех высотах направление ветра одинаково.

Решение: определяем время снижения парашютиста до высоты  $H_1 = 400$  м:

$$t_1 = \frac{H - H_1 - \Delta H}{V} = \frac{1000 - 400 - 50}{5} = 110 \text{ сек.},$$

где  $\Delta H = 50$  м — высота, которую теряет парашютист при раскрытии парашюта.

Находим относительное снижение парашютиста с высоты начала парашютирования до высоты 400 м.

$$A_1 = V \cdot t_1 = 4 \cdot 110 = 440 \text{ м.}$$

Время парашютирования с высоты 400 м до высоты 100 м:

$$t_2 = \frac{H_1 - H_2}{V} = \frac{400 - 100}{5} = 60 \text{ сек.}$$

Относ парашютиста за это время будет:

$$A_2 = (U + \Delta U_1) \cdot t_2 = (4 + 2) \cdot 60 = 360 \text{ м.}$$

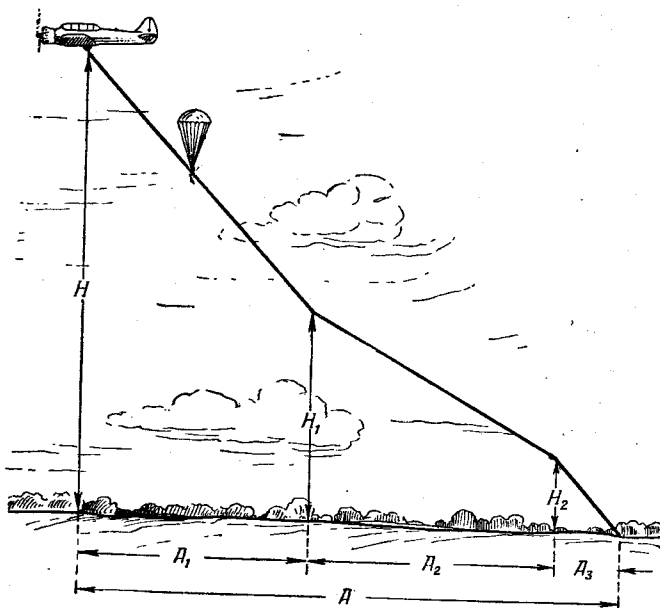


Рис. 83

Время парашютирования с высоты 100 м:

$$t_3 = \frac{H_2}{V} = \frac{100}{5} = 20 \text{ сек.}$$

Относ с высоты 100 м:

$$A_3 = (U + \Delta U_2) \cdot t_3 = (4 + 1) \cdot 20 = 100 \text{ м.}$$

Общий относ парашютиста с высоты начала парашютирования до момента приземления:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 440 + 360 + 100 = 900 \text{ м (рис. 83).}$$

2. Парашютист снижается с вертикальной скоростью  $V = 5 \text{ м/сек}$ . Скорость ветра  $U = 3 \text{ м/сек}$  (рис. 84). Какова будет суммарная скорость снижения  $W$ , если парашютист натяжением лямок создал дополнительную горизонтальную скорость  $\Delta U = 2 \text{ м/сек}$  (изменение вертикальной скорости при управлении куполом не учитывается).

3. Скорость снижения парашютиста  $V = 4 \text{ м/сек}$ . Скорость ветра  $U = 2 \text{ м/сек}$ . На какую величину надо увеличить горизонтальную скорость (рис. 84), для того чтобы суммарная скорость снижения  $W$  была равна  $5 \text{ м/сек}$ ?

4. На какую величину парашютист должен уменьшить горизонтальную скорость, равную  $5 \text{ м/сек}$ , для того чтобы при вертикальной скорости  $V = 4,5 \text{ м/сек}$  суммарная скорость снижения уменьшилась до  $6 \text{ м/сек}$ ?

5. При постоянной скорости ветра  $3 \text{ м/сек}$  парашютист снижался 150 сек. и имел общий относ 550 м. Управлял ли он при снижении куполом парашюта?

6. Парашютист снижался 120 сек. при скорости ветра  $4 \text{ м/сек}$  и имел общий относ 400 м. На сколько метров парашютист, управляя куполом парашюта, уменьшил общий относ?

7. Парашютист снижался 200 сек. при скорости ветра  $5 \text{ м/сек}$  и имел общий относ 1200 м. На какую величину парашютист, управляя куполом парашюта, увеличил среднюю горизонтальную скорость?

8. Парашютист перемещается в горизонтальном направлении со скоростью ветра  $U$  в направлении  $BC$  (рис. 85). Каковы должны быть его действия, для того чтобы достигнуть условной точки  $A$ , расположенной строго против ветра?

9. Какова будет суммарная горизонтальная скорость парашютиста  $R$  (рис. 86), если он натяжением лямок создал боковую горизонтальную скорость  $\Delta U = 2 \text{ м/сек}$ . Скорость ветра  $U = 3 \text{ м/сек}$ . Что надо сделать для того, чтобы перемещаться в направлении условной точки?

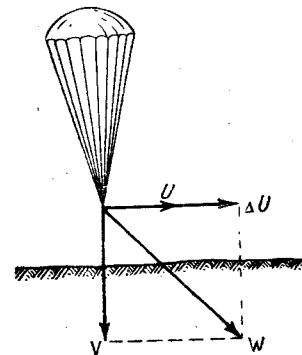


Рис. 84

10. Какую боковую горизонтальную скорость ( $\Delta U_1, \Delta U_2$ ) (рис. 87) создал натяжением боковых лямок парашютист, перемещающийся в горизонтальном направ-

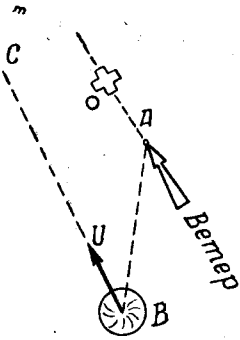


Рис. 85

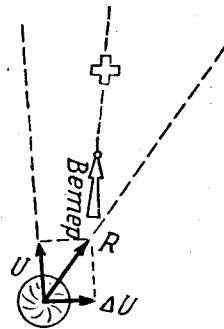


Рис. 86

лении со скоростью ветра  $U = 2$  м/сек, если угол между вектором ветра и результирующей скоростью  $R$  составляет: а)  $30^\circ$ , б)  $45^\circ$ ?

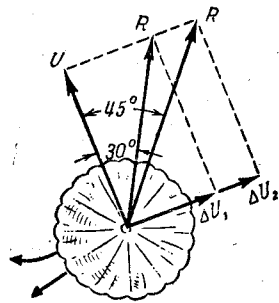


Рис. 87

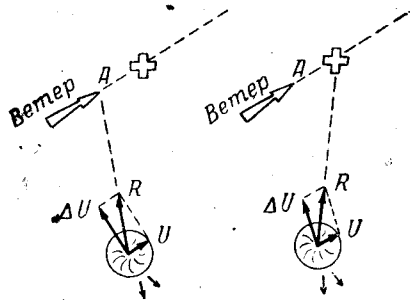


Рис. 88

11. Два парашютиста при приближении к цели действуют различно, как показано на рис. 88. Какой парашютист управляет куполом правильно и какой неправильно? В чем заключаются неправильные действия?

12. На рис. 89 показана пространственная система скоростей, которая бывает, если парашютист создает боковую горизонтальную скорость  $\Delta U$ , направленную под углом  $90^\circ$  к направлению скорости ветра. Требуется определить величину суммарной скорости снижения  $R$ , если  $V = U = 4$  м/сек, а  $\Delta U = 2$  м/сек.

13. Высота прыжка 820 м, скорость снижения парашютиста 4,7 м/сек, скорость ветра 3 м/сек. Какой относительный парашютист, если он на высоте 300 м создал дополнительную горизонтальную скорость 2 м/сек?

14. Какой относительный парашютист, если он на высоте 300 м уменьшил горизонтальную скорость на 1 м/сек. Скорость снижения парашютиста 4,8 м/сек, скорость ветра 2 м/сек. Высота прыжка 600 м. Траекторию движения парашютиста изобразить графически.

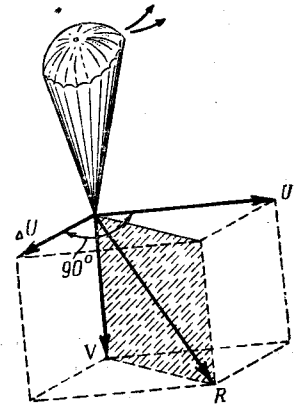


Рис. 89

15. Определить относительный парашютист, если он отделился от самолета на высоте 1500 м при скорости среднего ветра 10 м/сек (до высоты  $H_1$ ). На высоте  $H_1 = 500$  м он уменьшил горизонтальную скорость на 1 м/сек, а на высоте  $H_2 = 200$  м увеличил ее на 2 м/сек. Скорость снижения 6,2 м/сек, средний ветер с высоты 500 м до земли — 5 м/сек. Траекторию движения парашютиста изобразить графически.

16. Парашютист отделяется от самолета на высоте 800 м с парашютом, имеющим круглую форму. Скорость его снижения 5 м/сек. Определить, в каких пределах он может уточнять предварительный расчет прыжка, если натяжением двух лямок в течение всего времени парашютирования он будет создавать дополнительную горизонтальную скорость 2 м/сек.

17. При условии предыдущей задачи определить пределы уточнения предварительного расчета прыжка, если он выполняется с высоты: а) 1000 м, б) 1500 м.

18. Парашютист находится над условной точкой А на высоте 100 м (рис. 90). На сколько надо увеличить гори-

горизонтальную скорость, чтобы приземлиться в цель (точка  $B$ ), находящуюся на расстоянии  $80 \text{ м}$  от точки  $A$ . Скорость снижения парашютиста  $5 \text{ м/сек}$ ;  $U = 2 \text{ м/сек}$ .

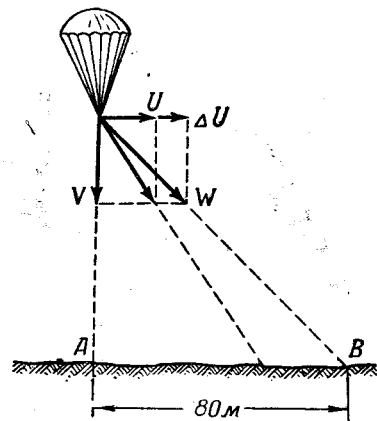


Рис. 90

19. Парашютист находится на высоте  $H = 120 \text{ м}$ . Скорость снижения его  $6 \text{ м/сек}$ . На сколько необходимо ему увеличить горизонтальную скорость, чтобы относительное увеличение на  $30 \text{ м}$ ?

20. Управляя куполом парашюта в течение  $25 \text{ сек.}$ , парашютист увеличил относительное на  $50 \text{ м}$ . Какую дополнительную горизонтальную скорость он создал натяжением лямок?

21. При управлении куполом парашюта была создана дополнительная горизонтальная скорость  $1,5 \text{ м/сек}$  и уменьшен относительный на  $45 \text{ м}$ . В течение какого времени парашютист управлял куполом парашюта?

22. Парашютист снижается вертикально в точку  $A$  (рис. 91). Может ли он, управляя куполом парашюта, приземлиться на окраине леса в точке  $B$ , если  $H = 250 \text{ м}$ ,  $AB = 100 \text{ м}$ ; скорость снижения парашютиста  $4,7 \text{ м/сек}$ .

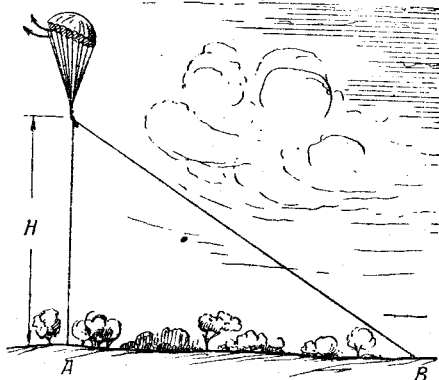


Рис. 91

весом  $90 \text{ кг}$  с высоты  $1000 \text{ м}$  при наибольшей дополнительной горизонтальной скорости, если учитывать изменение вертикальной скорости при управлении куполом парашюта и если не учитывать это изменение? Скорость снижения парашютиста  $5,3 \text{ м/сек}$ .

25. Два парашютиста отделяются от самолета «Ан-2» на скорости  $145 \text{ км/час}$  с интервалом в  $1 \text{ сек.}$  и имеют равные вертикальные скорости снижения  $5 \text{ м/сек}$  (рис. 92). На

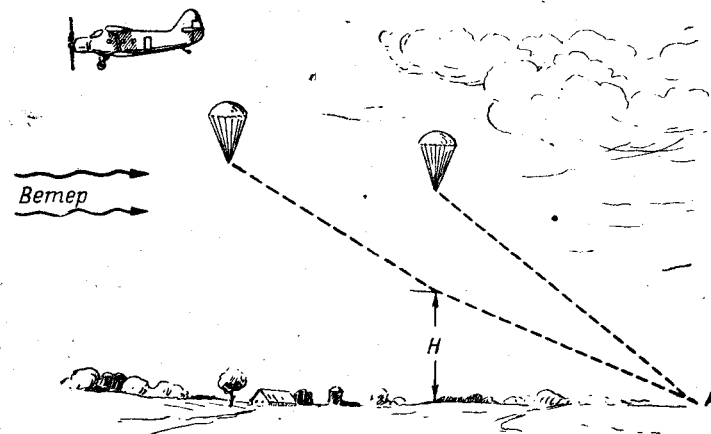


Рис. 92

какой высоте  $H$  второй парашютист должен создать дополнительную горизонтальную скорость  $2 \text{ м/сек}$ , чтобы приземлиться в той же точке  $A$ , куда приземлится, не управляя куполом парашюта, первый парашютист?

26. Три парашютиста отделяются от самолета «Ли-2» на скорости  $180 \text{ км/час}$  с интервалом в  $1 \text{ сек.}$  и имеют равные вертикальные скорости снижения  $5 \text{ м/сек}$ . На какой высоте  $H_1$  первый парашютист должен уменьшить горизонтальную скорость на  $2 \text{ м/сек}$  и на какой высоте  $H_2$  третий парашютист должен увеличить горизонтальную скорость на  $1 \text{ м/сек}$ , чтобы приземлиться в той же точке  $A$ , куда приземляется второй парашютист, не управляя куполом парашюта (рис. 93).

27. После отделения от самолета два парашютиста находятся один от другого на расстоянии  $45 \text{ м}$ . Сколько вре-

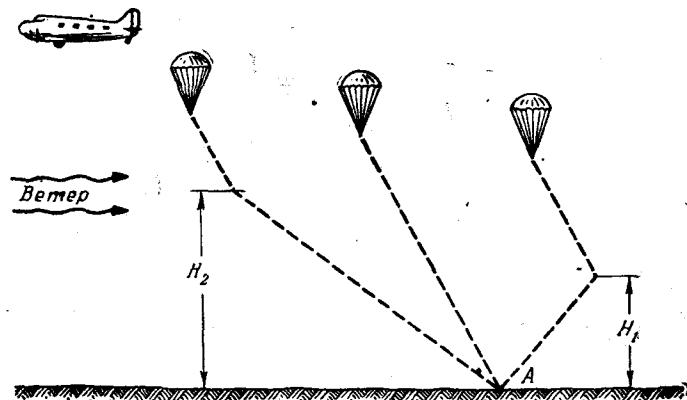


Рис. 93

мени потребуется второму парашютисту для того, чтобы догнать первого парашютиста, если  $U_1 = 3$  м/сек;  $U_2 = 4,5$  м/сек (рис. 94)?

28. Три парашютиста отделяются от самолета «Ан-2» на скорости 145 км/час с интервалом 0,5 сек. Через сколько секунд второй и третий парашютисты смогут догнать первого парашютиста, если второй парашютист натяжением лямок создал дополнительную горизонтальную скорость  $\Delta U_1 = 1$  м/сек, а третий  $\Delta U_2 = 1,5$  м/сек (рис. 95)?

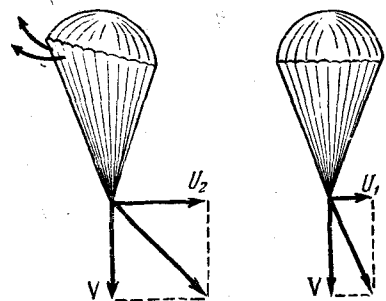


Рис. 94

29. Парашютист снижается при скорости ветра  $U = 5$  м/сек. Скорость снижения его 4,9 м/сек. Определить величину суммарной скорости снижения парашютиста  $W$ ,  $W_1$  и  $W_2$ , если натяжением лямок в случаях б и в он соз-

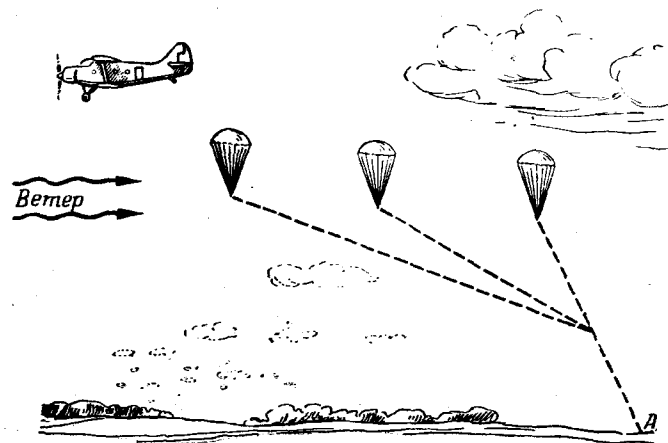


Рис. 95

дает наибольшую дополнительную горизонтальную скорость 2 м/сек (рис. 96).

30. Парашютист снижается на парашюте с квадратным куполом со скоростью 5,5 м/сек. Скорость ветра 5 м/сек. Какова будет суммарная скорость снижения, если он:

а) установил киль по ветру и натяжением передних лямок создал дополнительную горизонтальную скорость 1 м/сек;

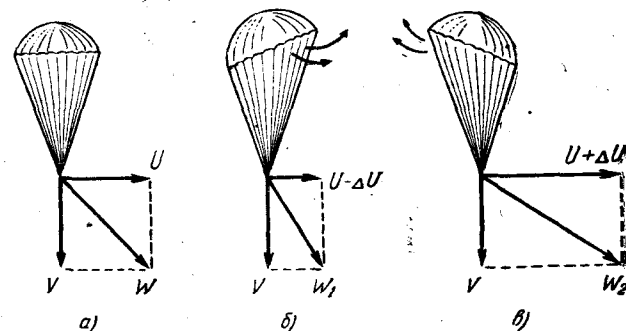


Рис. 96

б) установил киль против ветра и натяжением передних лямок создал дополнительную горизонтальную скорость  $1 \text{ м/сек}$ .

При решении этой и последующих задач будем считать, что главный киль квадратного купола создает горизонтальную скорость  $2 \text{ м/сек}$  независимо от веса парашютиста; натяжение передних лямок (или задних) изменяет ее на  $1 \text{ м/сек}$ .

31. Парашютист снижается на парашюте с квадратным куполом. Скорость ветра  $5 \text{ м/сек}$ . С какой скоростью он перемещается относительно земли, если: а) киль установлен по ветру, б) киль установлен против ветра, в) киль установлен по ветру и натяжением передних лямок создана дополнительная горизонтальная скорость  $1 \text{ м/сек}$ , г) киль установлен против ветра и натяжением передних лямок создана дополнительная горизонтальная скорость  $1 \text{ м/сек}$ ?

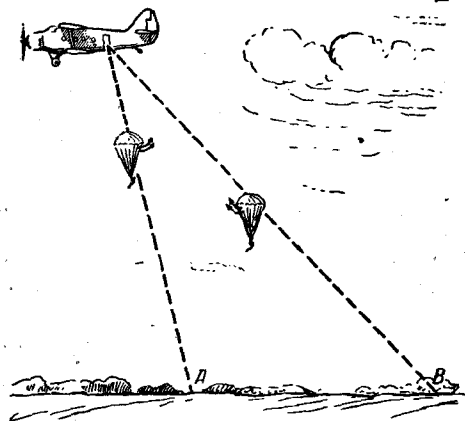


Рис. 97

ими одновременно? Парашюты — с квадратными куполами. Высота  $800 \text{ м}$ . Скорость снижения парашютистов  $5 \text{ м/сек}$ . Первый парашютист установил киль по ветру, второй против него (рис. 97).

33. При скорости ветра  $4 \text{ м/сек}$  парашютист снижался  $120 \text{ сек}$ . и имел относ  $240 \text{ м}$ . В какое положение был поставлен главный киль?

34. Парашютист снижался на парашюте с квадратным куполом  $140 \text{ сек}$ . при скорости ветра  $5 \text{ м/сек}$  и имел общий относ  $1120 \text{ м}$ . На сколько увеличил он горизонтальную скорость?

35. Время снижения парашютиста на парашюте с квадратным куполом  $150 \text{ сек}$ . На сколько метров парашютист,

управляя куполом парашюта, может увеличить общий относ?

36. Высота прыжка  $800 \text{ м}$ . Скорость снижения парашютиста  $5 \text{ м/сек}$ , скорость ветра  $4 \text{ м/сек}$ . Какой относ будет иметь парашютист, если до высоты  $400 \text{ м}$  главный киль стоял по ветру, а затем был установлен против него (рис. 98).

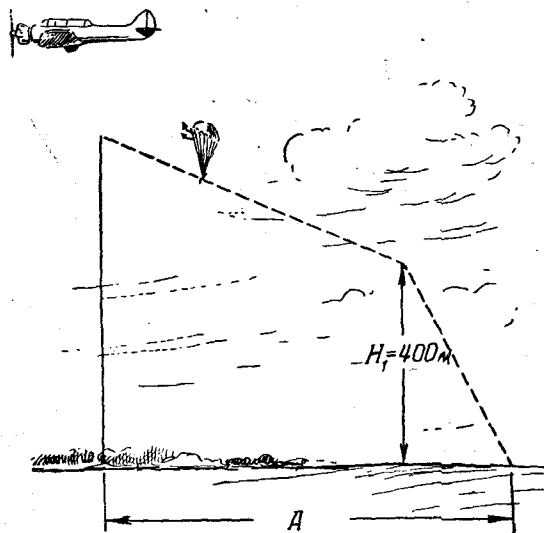


Рис. 98

37. В упражнениях 37—44 (рис. 99) определить, в какое положение надо поставить главный киль, чтобы перемещаться к условной точке А? В какую сторону в каждом случае парашютист должен разворачивать главный киль?

45. Парашютист снижается на парашюте с квадратным куполом со скоростью  $6 \text{ м/сек}$ . Скорость ветра  $4 \text{ м/сек}$ . В каких пределах может изменяться суммарная скорость снижения при приземлении в зависимости от действий парашютиста?

46. Определить радиусы кругов  $R_1$  и  $R_2$ , в каждой точке которых может приземлиться парашютист:

а) при установке кия в различные положения относительно плоскости ветра;



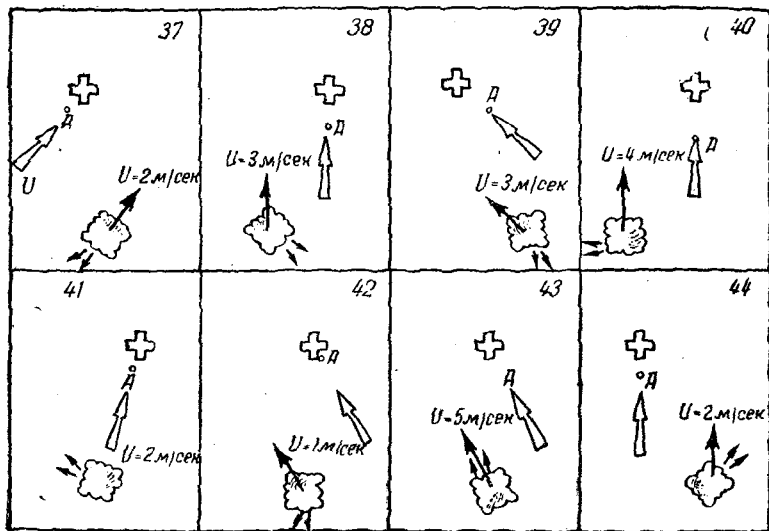


Рис. 99

б) при разворотах купола и усилении реактивного эффекта главного кия натяжением передних лямок (рис. 100), если высота прыжка 800 м, скорость снижения 4,7 м/сек.

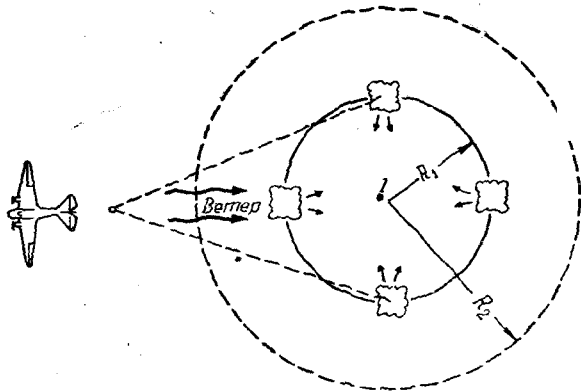


Рис. 100

47. Для условия предыдущей задачи определить радиусы кругов  $R_1$  и  $R_2$ , если высота прыжка: а)  $H_1 = 1000$  м, б)  $H_2 = 1500$  м.

В каких случаях парашютист приземлится в точке 1?

48. Какой относительный будет иметь парашютист при прыжке с высоты 850 м и скорости снижения 5 м/сек, если он половину высоты снижения перемещался с килем, установленным по ветру, а другую половину высоты — с килем, установленным против ветра? Скорость ветра 3 м/сек.

49. Определить относительный парашютиста, если он с высоты 1100 м снижался с килем, установленным по ветру, а на

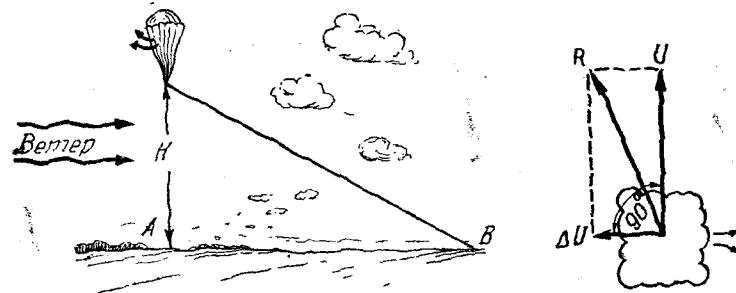


Рис. 101

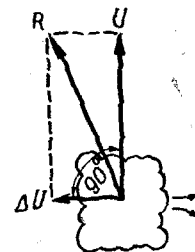


Рис. 102

высоте 200 м натяжением задних лямок уменьшил горизонтальную скорость на 1 м/сек. Скорость ветра 3 м/сек; скорость снижения 6 м/сек.

50. Парашютист оставил самолет на высоте 1000 м, имея скорость 4,7 м/сек. Какова будет величина отбоя, если парашютист снижался с килем, установленным по ветру; на высоте 400 м он киль развернул против ветра, а на высоте 100 м натяжением передних лямок уменьшил горизонтальную скорость еще на 1 м/сек? Скорость ветра 4 м/сек.

51. Парашютисту, снижающемуся с вертикальной скоростью 4,8 м/сек, необходимо увеличить отбоя на 100 м. На какой высоте он начал управлять куполом, если разворотом кия и натяжением лямок он создал горизонтальную скорость 3 м/сек?

52. С какой высоты парашютист может приземлиться в точке В (рис. 101), если разворотом кия и натяжением лямок он создаст горизонтальную скорость 3,5 м/сек? Рас-

стояние  $AB = 200$  м. Скорость снижения парашютиста  $5$  м/сек.

53. Может ли парашютист, снижаясь с высоты  $100$  м, достигнуть точки  $B$  (рис. 101), развернув киль по ветру, если скорость его снижения  $5$  м/сек, а расстояние  $AB = 120$  м? Какую дополнительную горизонтальную скорость парашютист должен создать натяжением передних лямок, чтобы достигнуть точки  $B$ ? Скорость ветра  $3$  м/сек.

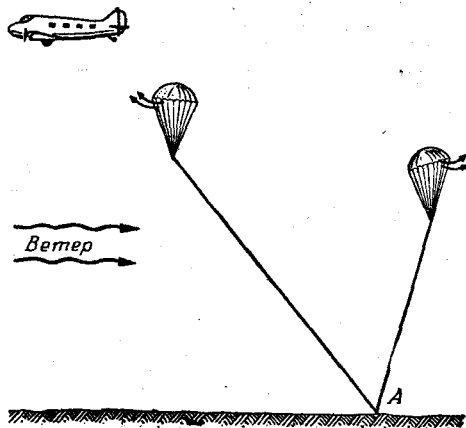


Рис. 103

54. Какую величину будет иметь суммарная горизонтальная скорость  $R$ , если скорость ветра  $5$  м/сек, а парашютист установил главный киль под углом  $90^\circ$  к плоскости ветра и натяжением передних лямок увеличил горизонтальную скорость еще на  $1,5$  м/сек? (рис. 102).

55. Парашютист в штиль отделился от самолета на высоте  $800$  м и имел скорость снижения  $5$  м/сек. Какую среднюю горизонтальную скорость создал парашютист, управляя куполом парашюта, если его общий относительный расход был равен  $375$  м?

56. Два парашютиста отделяются от самолета «Ан-2» на высоте  $800$  м и имеют равные вертикальные скорости снижения  $5$  м/сек. Воздушная скорость самолета  $145$  км/час.

Через сколько секунд после отделения первого парашютиста, установившего киль против ветра, должен отделиться второй парашютист для того, чтобы, установив киль

по ветру, приземлиться в той же точке  $A$ , куда приземляется первый парашютист (рис. 103).

57. При условии предыдущей задачи определить, насколько изменится интервал между моментами отделения первого и второго парашютистов при: а) уменьшении высоты сбрасывания до  $600$  м; б) увеличении высоты сбрасывания до  $1000$  м.

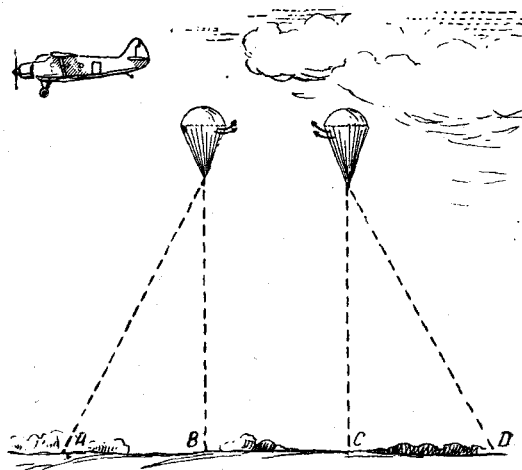


Рис. 104

58. На каком расстоянии один парашютист приземлится от другого, если после отделения от самолета «Ан-2» на скорости  $200$  км/час с интервалом в  $2$  сек. один развернул киль и начал перемещаться в направлении полета самолета, а другой — в противоположном направлении (рис. 104). Высота прыжка  $800$  м, скорость снижения  $5,2$  м/сек.

59—70. В упражнениях (59—70) определить действия парашютиста при управлении парашютом с квадратным куполом. В какую сторону необходимо разворачивать купол? Почему? Как в каждом случае уточнять расчет? (рис. 105). (Некоторые случаи могут иметь несколько вариантов решений.)

71. При условиях задачи 58 определить, как изменятся траектории снижения парашютистов при  $U = 1$  м/сек,  $U = 2$  м/сек? Изменится ли величина общего относительного расстояния  $AD$  обоих парашютистов?

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p>59 Значительный перелет</p>                 | <p>60 Значительный недолет</p>                   | <p>61 Значительный перелет</p>                       |
| <p>62 Значительный недолет</p>                 | <p>63 Незначительный перелет</p>                 | <p>64 Незначительный недолет</p>                     |
| <p>65 Расчет по дальности правильный</p>       | <p>66 Расчет по дальности правильный</p>         | <p>67 Парашютиста сносит влево</p>                   |
| <p>68 Парашютист перемещается правее круга</p> | <p>69 Парашютист перемещается к центру круга</p> | <p>70 Парашютист перемещается левее центра круга</p> |

Рис. 105

72. Два парашютиста отделяются от самолета «Ли-2» на скорости 180 км/час с интервалом в 3 сек. и имеют равные вертикальные скорости снижения 5 м/сек

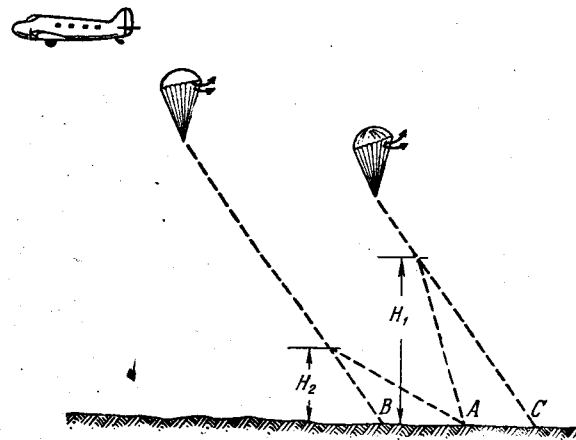


Рис. 106

(рис. 106). На какой высоте  $H_2$  второй парашютист должен развернуть киль по ветру и на какой высоте  $H_1$  первый парашютист натяжением передних лямок должен

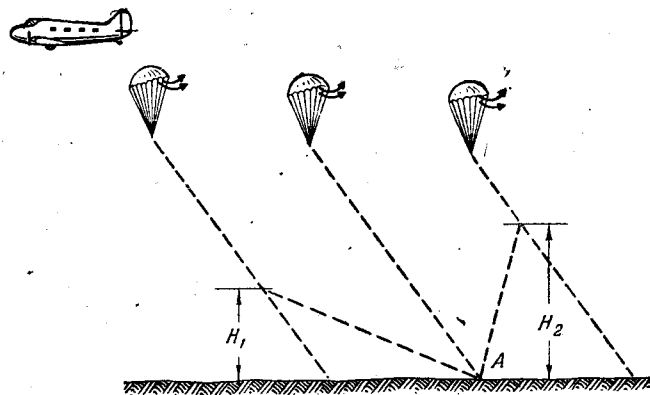


Рис. 107

уменьшить горизонтальную скорость на  $1 \text{ м/сек}$ , чтобы оба парашютиста приземлились в точке  $A$ , если  $BA=AC$ ?

73. При условиях предыдущей задачи определить, на какой высоте  $H$  второй парашютист должен развернуть киль по ветру, чтобы приземлиться в точке  $C$ , куда приземляется первый парашютист.

74. Трое парашютистов отделяются от самолета «Ли-2» на скорости  $200 \text{ км/час}$  с интервалом  $2 \text{ сек}$ . и имеют равные вертикальные скорости снижения  $5,5 \text{ м/сек}$ . На какой высоте  $H_1$  (рис. 107) третий парашютист должен развернуть киль по ветру и на какой высоте  $H_2$  первый парашютист должен уменьшить горизонтальную скорость на  $1,5 \text{ м/сек}$ , чтобы приземлиться в той же точке  $A$ , куда приземляется, не управляя куполом парашюта, второй парашютист?

#### ГЛАВА IV

### РАСЧЕТ ПРЫЖКА

При выполнении прыжков парашютисты должны приземляться в заранее указанном месте, чаще всего на аэродроме или на какой-либо площадке вне аэродрома, имеющей достаточные размеры и пригодную для приземления поверхность.

Но чтобы приземление парашютистов происходило в заранее определенном районе, перед выполнением прыжков необходимо произвести расчет прыжка. Этот расчет делается для определения:

- а) отношения парашютистов ветром;
- б) курса самолета при выброске парашютистов;
- в) высоты раскрытия парашюта и высоты сбрасывания парашютистов при заданной задержке раскрытия парашюта;
- г) минимальных размеров площадки для приземления парашютистов при индивидуальных и групповых прыжках, так как всегда получается рассеивание парашютистов при приземлении, вызываемое изменением метеорологической обстановки, различным весом парашютистов, различным положением главного килья при снижении на парашюте с квадратным куполом и т. д.

Из сказанного следует, что расчет отношения дает лишь район приземления парашютистов, и поэтому он должен быть сделан с наибольшей точностью. В случае неправильного или даже недостаточно точного расчета парашютист при снижении может оказаться над местностью, имеющей различного рода препятствия (строения, лес, неровная почва и др.) и поэтому не гарантирующей безопасного приземления.

<sup>1</sup> В задачах 72—74 предполагается, что у всех парашютистов после отделения от самолета главный киль установлен против ветра.

Таблица 3

| Задержка раскрытия парашюта, сек. | Расстояние свободного падения, м | Высота прыжка, м |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------|
| 5                                 | 105                              | 900              |
| 10                                | 300                              | 1100             |
| 15                                | 510                              | 1350             |
| 20                                | 720                              | 1500             |
| 25                                | 930                              | 1800             |
| 30                                | 1130                             | 2000             |
| 35                                | 1340                             | 2200             |
| 40                                | 1550                             | 2400             |
| 50                                | 2000                             | 2800             |

В связи с тем, что парашютисты научились управлять куполом парашюта, т. е. после отделения от самолета они по своему усмотрению изменяют в определенных пределах величину своего отбоя и его направление, точность приземления парашютистов значительно повысилась.

Это, однако, не значит, что отпадает необходимость в предварительном расчете прыжка. Наоборот, точное выполнение предварительного расчета при правильном управлении куполом парашюта является решающим фактором для точного приземления парашютистов в заранее указанном месте.

Предварительный расчет делается из условия выполнения прыжка на парашюте с круглым куполом. С таким же парашютом делается «пристрелочный» прыжок парашютиста для проверки и уточнения предварительного расчета.

Если же прыжки выполняются с парашютами, имеющими квадратный купол, то точка сбрасывания, определяемая расчетным отбоям парашютиста, выбирается там же, где и для выполнения прыжка с парашютом, имеющим круглый купол.

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ СВОБОДНОГО ПАДЕНИЯ

Перед выполнением затяжных прыжков парашютисту приходится решить две основные задачи:

а) определить величину наибольшей задержки, которую он может сделать при выполнении прыжка с данной высоты и раскрытии парашюта на безопасной высоте;

б) определить высоту, на которой он должен оставить самолет, чтобы выполнить прыжок с заданной задержкой раскрытия парашюта.

Для тренировочных прыжков, выполняемых с задержками раскрытия парашюта от 5 до 50 сек., расстояние свободного падения и высота прыжка приведены в таблице 3 (для режима падения горизонтально, лицом к земле).

Прыжки с длительной задержкой раскрытия парашюта (более 50 сек.) выполняются чаще всего для подготовки и установления рекордов по отдельным видам затяжных прыжков.

При подготовке к прыжку, правильное выполнение которого должно обеспечить превышение существующих достижений, парашютисту указывается расстояние, которое он должен пролететь в свободном падении.

Так как парашютист во время падения контролирует пройденное расстояние при помощи секундомера, то необходимо знать, по истечении какого времени он пролетит заданное расстояние. Этот вопрос решается предварительным расчетом.

Плотность воздуха изменяется с изменением высоты. Наибольшую плотность имеет воздух, находящийся вблизи земной поверхности, на больших высотах он сильно разрежен. Поэтому скорость падения парашютиста в различных слоях воздуха имеет различную величину.

Таблица 4

| Слой воздуха, м | Средняя скорость падения, м/сек | Время прохождения слоя воздуха толщиной 1000 м в сек. | Поправочный коэффициент K |
|-----------------|---------------------------------|---|---------------------------|
| 14 000 — 13 000 | 91,0                            | 11,0  | 2,08                      |
| 13 000 — 12 000 | 85,0                            | 11,8  | 1,93                      |
| 12 000 — 11 000 | 78,5                            | 12,7  | 1,78                      |
| 11 000 — 10 000 | 72,0                            | 13,9  | 1,64                      |
| 10 000 — 9000   | 68,0                            | 14,7  | 1,55                      |
| 9000 — 8000     | 64,0                            | 15,6  | 1,45                      |
| 8000 — 7000     | 60,5                            | 16,5  | 1,38                      |
| 7000 — 6000     | 57,0                            | 17,5  | 1,30                      |
| 6000 — 5000     | 54,0                            | 18,5  | 1,23                      |
| 5000 — 4000     | 51,0                            | 19,6  | 1,17                      |
| 4000 — 3000     | 49,0                            | 20,4  | 1,11                      |
| 3000 — 2000     | 46,0                            | 21,8  | 1,05                      |
| 2000 — 1000     | 44,0                            | 22,8  | 1,00                      |
| 1000 — 0        | 42,0                            | 23,8  | 0,95                      |

Если, например, известна скорость падения или расстояние, пройденное парашютистом за определенное время в слое воздуха от 2000 до 1000 м, то можно определить эти величины в любом другом слое воздуха, соответственно умножив или разделив каждую из них на поправочный коэффициент  $K$ , приведенный в таблице 4 и учитывающий изменение плотности воздуха в различных слоях воздуха (рис. 108).

При падении парашютиста в слое воздуха от 2000 до 1000 м равновесная скорость падения наступает на 10—11-й секунде, в зависимости от степени стабильности падения и положения тела, причем в это время он пролетает 335—500 м.

Для определения этих величин в других слоях воздуха, например от 8000 до 7000 м, пользуемся поправочным коэффициентом; тогда:  $335 \cdot 1,38 \approx 460$  м,  $10 \cdot 1,38 \approx 14$  сек.

Примем, что  $V_{равн}$  наступит на 10-й секунде, потому что парашютист, снаряженный для высотного прыжка, обладает большим сопротивлением падению, чем парашютист, выполняющий невысокий прыжок.

После этого находим общую продолжительность свободного падения парашютиста, складывая последовательно время его падения в каждом слое.

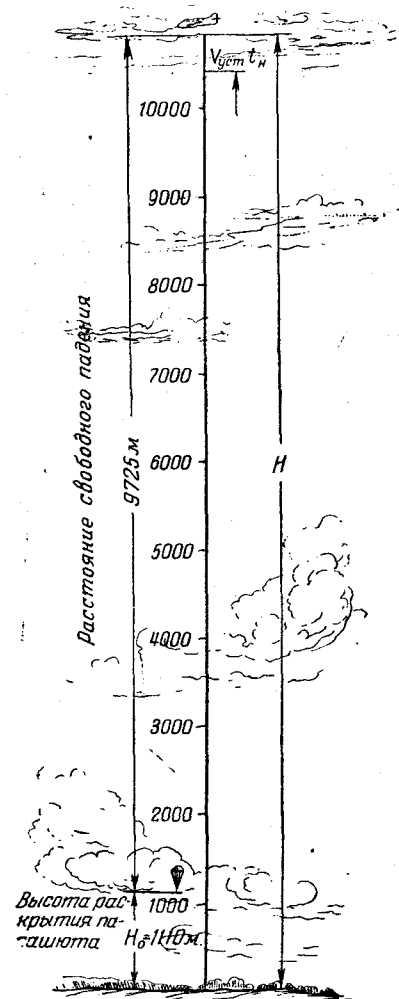


Рис. 108

Таблица для определения поправочных коэффициентов средней скорости и времени падения в различных слоях воздуха толщиной 1000 м составлена для парашютиста среднего веса 90 кг (с парашютом), имеющего коэффициент сопротивления при горизонтальном положении тела вниз лицом  $c = 0,3$ .

При изменении угла наклона тела парашютиста по отношению к горизонту изменяется коэффициент сопротивления  $c$  и, следовательно, скорость его падения. Приведенное значение коэффициента сопротивления  $c = 0,3$  имеет несколько большую величину, чем показано на графике (рис. 46) для данного режима падения, вследствие того что парашютист в зимнем обмундировании с регистрирующими приборами обладает большим сопротивлением, чем при падении в летнем обмундировании без регистрирующих приборов.

Если же вес парашютиста больше или меньше среднего веса, то для расчетов можно считать, что изменение веса на 10 кг дает изменение скорости, а следовательно, и времени падения на 2%. При меньших изменениях веса поправку вводить нецелесообразно.

Пример. Найти время свободного падения заслуженного мастера спорта П. Сторчиченко при прыжке с высоты 10 836 м 12 сентября 1952 г. Расстояние свободного падения 9725 м.

Парашют открыт на высоте  $10\,836 - 9726 = 1110$  м.

Высота и время, пройденные до наступления равновесной скорости (см. рис. 108):

$$K = 1,64 \quad 335 \cdot 1,64 = 550 \text{ м}; \quad 10 \cdot 1,64 = 16,4 \text{ сек.}$$

Время падения с момента отделения от самолета до высоты 10 000 м (границы следующего слоя воздуха):

$$16,4 + \frac{10\,836 - 550 - 10\,000}{72} = 16,4 + 4 = 20,4 \text{ сек.}$$

Время падения с высоты 10 000 м до высоты 2000 м — 144,4 сек. (определяем из таблицы).

Время падения с высоты 2000 м до высоты раскрытия парашюта (расстояние, пролетаемое парашютистом после раскрытия ранца, не учитывается):

$$\frac{2000 - 1110}{44} = 20,2 \text{ сек.}$$

Общее время свободного падения:

$$20,4 + 144,4 + 20,2 = 185 \text{ сек.}$$

Так как вес парашютиста с обмундированием и снаряжением был равен приблизительно 130 кг (на 40 кг больше среднего), то время падения уменьшилось на

$$\frac{40}{10} \times 2\% = 8\%.$$

Следовательно, исправленное время свободного падения будет:  $185 \cdot 0,92 \approx 170 \text{ сек.}$

И в действительности П. Сторчиенко падал в течение 170 сек. Совпадение расчетных данных с фактическими получилось полное, однако бывает и небольшое расхождение, так как трудно учесть все факторы, влияющие на скорость и, следовательно, на время падения парашютиста.

При предварительном определении времени свободного падения устанавливается высота раскрытия парашюта и расстояние свободного падения, после чего расчет производится в той же последовательности.

#### РАСЧЕТ ОТНОСА

Относом парашютиста по ветру называется расстояние на земной поверхности от точки, над которой начинается спуск на раскрытом парашюте, до точки приземления парашютиста (расстояние  $A_2$  на рис. 109).

Относом парашютиста по полету называется расстояние на земной поверхности от точки, над которой парашютист отделяется от самолета, до точки, над которой начинается спуск на раскрытом парашюте (расстояние  $A_1$  на рис. 109).

Расчетным относом парашютиста называется расстояние на земной поверхности от точки, над которой парашютист отделяется от самолета, до точки его приземления (расстояние  $A$  на рис. 109).

Как видно из рис. 109, траектория парашютиста относительно земли складывается из двух траекторий: траектории периода свободного падения  $ab$  и траектории периода снижения на раскрытом парашюте  $bc$ .

При выполнении расчета прыжка главной задачей является определение расчетного относа парашютиста  $A$ , который равен:

$$A = A_2 - A_1,$$

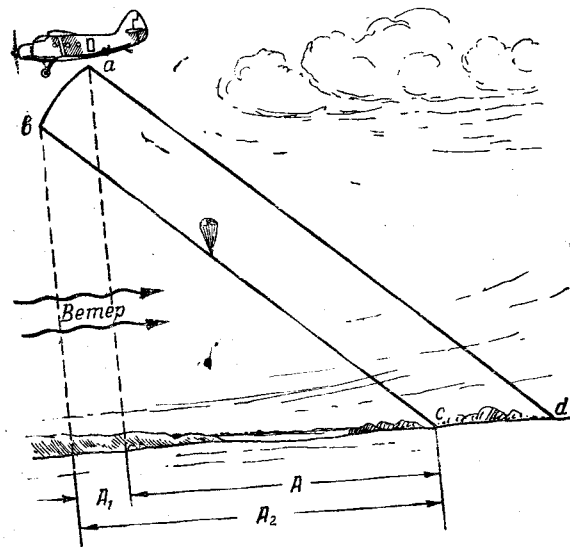


Рис. 109

т. е. разности между относом парашютиста по ветру и относом его по полету.

Порядок определения расчетного относа рассмотрим на примере.

**Пример.** Парашютист отделяется от самолета «Ан-2» на высоте 800 м и немедленно раскрывает парашют. Скорость среднего ветра по высотам 6 м/сек. Определить величину расчетного относа.

Считая, что продолжительность периода свободного падения при немедленном раскрытии парашюта после отделения от самолета равна примерно 2,5 сек. (время свободного падения — 1 сек. и половина времени, затрачиваемого на раскрытие парашюта,  $\frac{3}{2} = 1,5 \text{ сек.}$ ), находим по кривым (рис. 110) относ парашютиста по полету, примерно равный 85 м.

Но, так как относительная величина бывает при безветрии (кривые на рис. 110 даны для безветрия; при ветре они будут более крутыми), то из него надо вычесть рас-

Таким образом, высота начала парашютирования будет:

$$H_1 = 800 - 30 = 770 \text{ м.}$$

Принимая для парашютиста среднего веса скорость снижения 5 м/сек, найдем время парашютирования:

$$t = \frac{H_1}{V} = \frac{770}{5} = 154 \text{ сек.}$$

Зная скорость среднего ветра, определяем относительный парашютиста по ветру:

$$A_2 = Ut = 6 \cdot 154 = 924 \text{ м.}$$

Следовательно, расчетный относительный будет равен:

$$A = A_2 - A_1 = 924 - 70 \approx 850 \text{ м.}$$

Этот же пример с достаточной для практических целей точностью можно решить и по графику (рис. 111). По горизонтали от 800 м проводим линию до пересечения с прямой, соответствующей весу парашютиста (без парашюта), т. е. 70 кг. Из точки пересечения опускаем линию вниз до пересечения с прямой, соответствующей скорости среднего ветра (6 м/сек), а затем, проводя горизонтальную линию, равную на вертикальной оси находим величину относительного, равную 950 м (см. пунктирную линию). Вычитая отсюда величину  $cd$  (рис. 109) и считая ее приблизительно равной 50 м, получим:

$$A = 950 - 50 = 900 \text{ м.}$$

Эта поправка вводится в том случае, как видно из рис. 109, если не учитывается свободное падение после отделения от самолета.

Если необходимо определить расчетный относительный по графику (рис. 111), для высот более 1000 м (например, для высоты 1800 м) расчет выполняют два раза — для 1000 м и для 800 м, после чего складывают полученные относительные.

Разница в весе парашютиста на 10 кг против среднего веса (70 кг) дает изменение относительного примерно на 5%; разница на 20 кг изменяет относительный примерно на 10% и т. д.

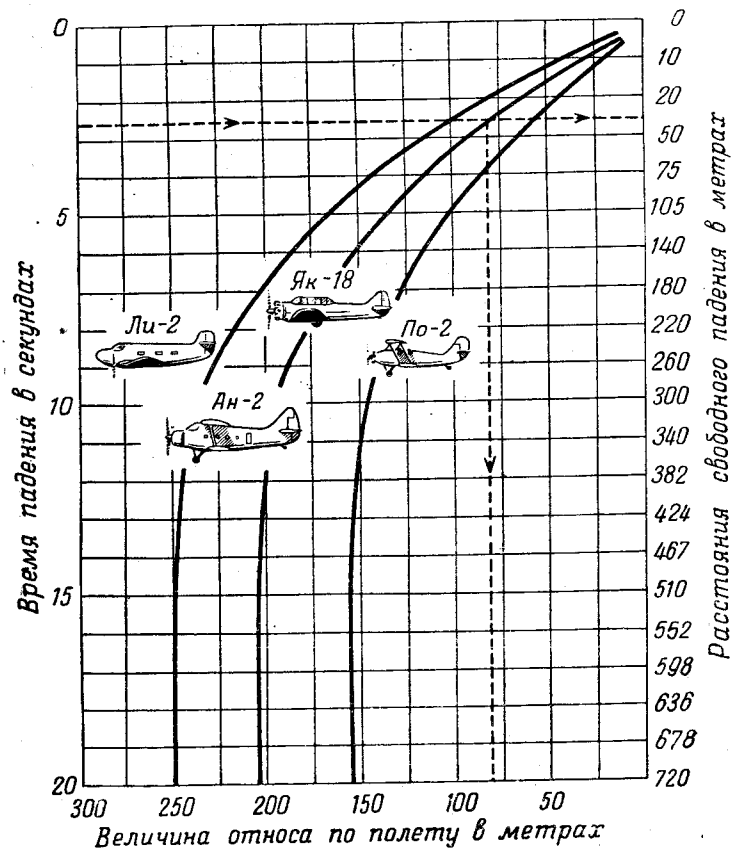


Рис. 110

стояние, которое проходит воздушная масса (ветер) за это же время, т. е.

$$A_1 = 85 - 6 \cdot 2,5 = 70 \text{ м.}$$

Расстояние свободного падения за 2,5 сек. приблизительно равно 30 м.



## СРЕДНЕАРИФМЕТИЧЕСКИЙ И ГРАФИЧЕСКИЙ СПОСОБЫ РАСЧЕТА ПРЫЖКА

Как известно, ветер чаще всего изменяет свое направление и скорость при изменении высоты. В таких случаях производят среднеарифметический или графический расчет прыжка.

Среднеарифметическим способом определяют величину средней скорости и среднего направления ветра в слое воздуха от поверхности земли до высоты сбрасывания парашютистов.

Например, прыжки будут выполняться с высоты 1000 м. Шаропилотные данные следующие:

| Высота, м                    | 0   | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Направление ветра в градусах | 187 | 190 | 193 | 195 | 190 | 180 | 184 | 182 | 191 | 196 | 200  |
| Скорость ветра, м/сек        | 4   | 4,5 | 5,2 | 5,7 | 5,0 | 5,4 | 6,1 | 6,8 | 7,3 | 6,7 | 7,8  |

Для того чтобы определить средние значения направления и скорости ветра, надо соответственно сложить величины, стоящие во второй и третьей строчках, и полученные суммы разделить на число слагаемых. Сделав эти вычисления, найдем, что среднее направление ветра 190°, средняя скорость 5,9 м/сек.

Этот способ расчета менее точен и применяется в том случае, когда направление ветра от поверхности земли до высоты сбрасывания отклоняется от его среднего направления не более чем на 10°, а скорость ветра в этом слое воздуха отличается от средней его скорости не более чем на 3 м/сек.

После определения средней скорости и направления ветра расчет прыжка производится ранее указанными способами.

При больших изменениях направления и скорости ветра по высотам, чем было указано выше, рекомендуется производить расчет прыжка графическим способом. Покажем этот способ на примере. Пусть высота прыжка 800 м, ско-

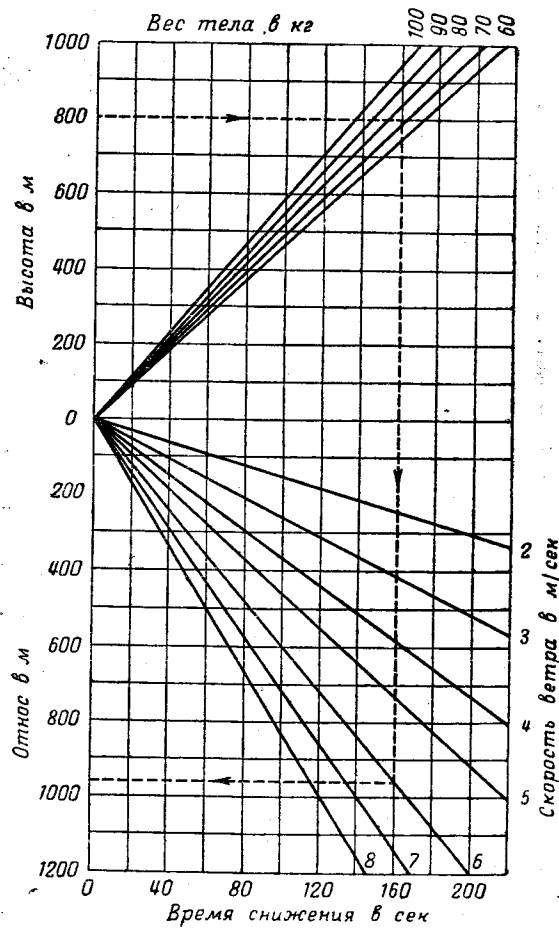


Рис. 111

рость снижения парашютиста 5 м/сек. Шаропилотные данные следующие:

| Высота в м                   | 0 | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Направление ветра в градусах | 5 | 5   | 15  | 13  | 51  | 41  | 75  | 67  | 97  |
| Скорость ветра, м/сек        | 3 | 3   | 7   | 5   | 6   | 8   | 4   | 8   | 2   |

По этим данным составляют расчетную таблицу. В первых двух строчках записывается среднее направление и средняя скорость ветра в последовательных слоях воздуха толщиной 100 м.

В третьей строчке указывается время снижения и в четвертой — путь парашютиста в слое воздуха указанной толщины.

| Слой воздуха в м                     | 0—100 | 100—200 | 200—300 | 300—400 | 400—500 | 500—600 | 600—700 | 700—800 |
|--------------------------------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Среднее направление ветра в градусах | 5     | 10      | 14      | 32      | 46      | 58      | 71      | 82      |
| Средняя скорость ветра в м/сек       | 3     | 5       | 6       | 5,5     | 7       | 6       | 6       | 5       |
| Время снижения в каждом слое в сек   | 20    | 20      | 20      | 20      | 20      | 20      | 20      | 20      |
| Путь парашютиста в слое воздуха в м  | 60    | 100     | 120     | 110     | 140     | 120     | 120     | 100     |

После этого от точки А на меридиане (которая обозначает расчетную точку приземления парашютистов) откладывают последовательно, в определенном масштабе, векторы средней скорости ветра с учетом их направления. Необходимо иметь в виду, что на графике откладывается метеорологическое направление ветра, показывающее, «откуда дует ветер», в отличие от аэронавигационного

направления, определяющего, «куда дует ветер», и имеющего, следовательно, противоположное (на 180°) направление (рис. 112).

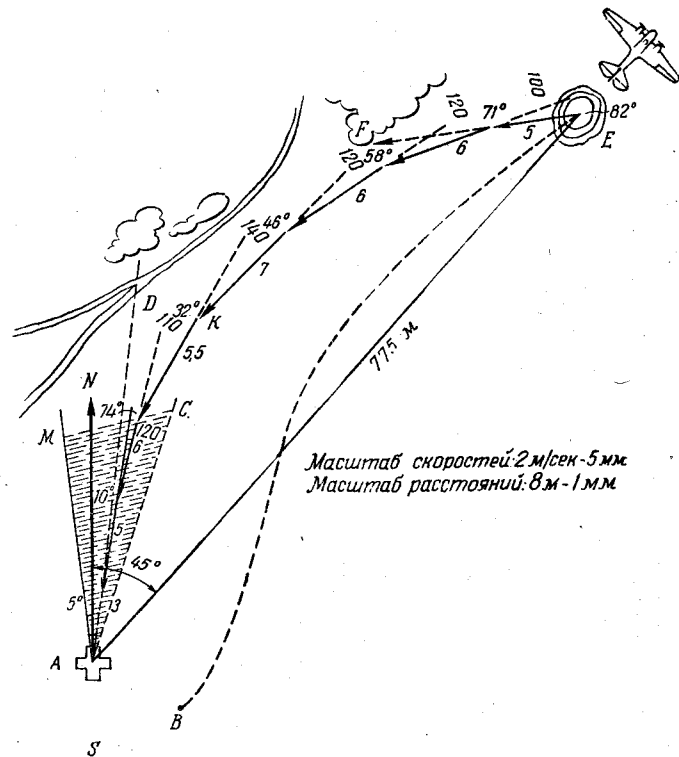


Рис. 112

Эти же векторы, но в другом масштабе, показывают путь<sup>1</sup>, проходимый парашютистом в слое воздуха толщиной 100 м, так как

$$S = U \cdot t, \quad (23)$$

где  $U$  — средняя скорость ветра в слое воздуха толщиной 100 м в м/сек;

<sup>1</sup> Масштаб пути равен произведению масштаба скорости ветра на время снижения парашютиста в слое воздуха заданной толщины (для данного случая 100 м).

$t$  — время снижения парашютиста в этом слое в сек.;  
это время для всех слоев воздуха одинаково и  
равно 20 сек. (если скорость снижения  $V = 5$  м/сек);

$S$  — путь, проходимый парашютистом в указанное  
время, в м.

Соединив точку  $E$  с точкой  $A$ , получим прямую линию,  
которая дает в принятом масштабе величину расчетного  
относа и определяет линию заданного пути для сбрасыва-  
ния парашютистов.

Точку отделения парашютистов от самолета можно на-  
метить по характерным ориентирам на местности (рис. 112, например, озеро), зная расстояния от каждо-  
из них до места желаемого приземления  $A$  и величину  
расчетного относа  $AE$ .

Если же в нужном направлении нет характерных  
ориентиров, выброску парашютистов можно производить  
ориентируясь по времени и по углу сбрасывания, о чем  
будет сказано ниже.

Угол  $NAE$  с учетом магнитного склонения есть за-  
данный магнитный путевой угол (ЗМПУ).

В результате графического расчета прыжка можно по-  
лучить наглядное представление об изменении относа  
парашютиста по высотам. Это особенно важно знать при  
выполнении прыжков на точность приземления.

Выполнив графический расчет на бумаге или на карте  
местности, парашютист должен запомнить, в каком на-  
правлении он должен перемещаться после отделения от  
самолета (например, на окраину леса  $F$  на рис. 112), как  
в дальнейшем изменяется направление относа: парашю-  
тист будет перемещаться приблизительно параллельно  
шоссейной дороге, а от точки  $K$ , находящейся в створе  
с точкой  $D$  (ответвление дороги), линия пути отклоняется  
к точке желаемого приземления  $A$ .

Очень важно перед выполнением прыжка наметить по  
наземным ориентирам центральную плоскость ветра  $AD$   
(плоскость действия ветра у земли), проходящую через  
цель, имея в виду возможные изменения ее положения  
(сектор МАС).

После отделения от самолета парашютист должен лишь  
контролировать величину и направление относа и в случае  
необходимости натяжением соответствующих лямок  
исправлять его. Если ветер на высоте по направлению

отличается от ветра у земли, он не должен тотчас же после  
отделения от самолета стремиться перемещаться по крат-  
чайшему расстоянию  $EA$  к кресту (точка  $A$ ), управляя  
куполом парашюта, так как, приблизившись к нему, он  
действием ветра может быть отнесен в сторону от креста  
и приземлится в точке  $B$  (пунктирная линия  $EB$ ).

## СБРАСЫВАНИЕ ПАРАШЮТИСТОВ ПО УГЛУ И ПО ВРЕМЕНИ

Углом сбрасывания называется угол  $\varphi$ , образуемый  
в момент прыжка между вертикалью и линией визирова-  
ния на точку желаемого приземления парашютиста  
(рис. 113).

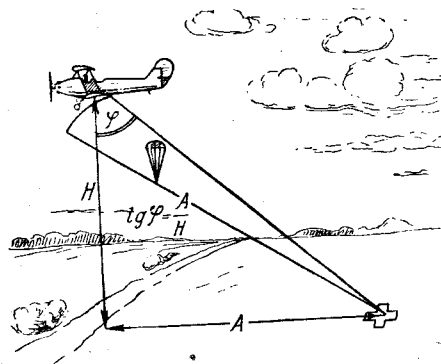


Рис. 113

Из чертежа видно, что

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{A}{H}, \quad (24)$$

т. е. тангенс угла сбрасывания есть отношение расчетного  
относа к высоте прыжка. Зная тангенс угла по тригоно-  
метрическим таблицам, легко найти и угол сбрасывания.

На рис. 114 приведена номограмма для определения  
угла сбрасывания по заданной высоте прыжка и расчет-  
ному отношению. Для того чтобы найти по ней угол сбрасыва-  
ния, надо при помощи линейки соединить точки на боко-  
вых шкалах, соответствующие нужной высоте прыжка и  
расчетному отношению. Тогда ребро линейки укажет на сред-

ней шкале. необходимый угол сбрасывания. Например, высота прыжка 800 м, расчетный относ 700 м. На средней шкале номограммы находим угол сбрасывания парашютиста, равный 40°.

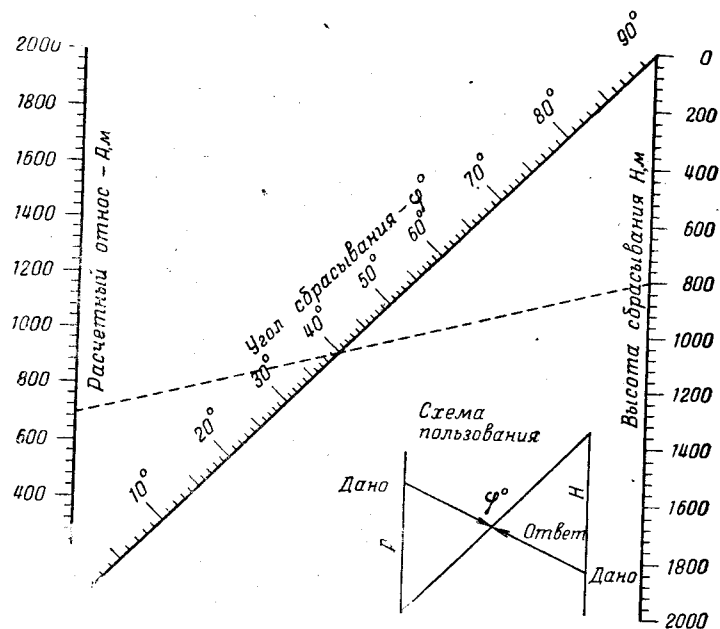


Рис. 114

Для сбрасывания парашютиста по времени необходимо определить время прохождения самолетом расчетного отнosa  $A$  (рис. 115). Для этого расчетный относ парашютиста надо разделить на путевую скорость самолета, т. е.

$$t = \frac{A}{W}, \quad (25)$$

где  $W$  — путевая скорость самолета в м/сек.

При полете самолета против ветра она равна разности между воздушной скоростью самолета и скоростью ветра на высоте полета самолета.

**Пример.** Определить время прохождения самолетом расчетного отнosa  $A = 700$  м при скорости ветра  $U = 5$  м/сек и воздушной скорости самолета  $V = 140$  км/час.

Решение: а) Определяем путевую скорость самолета.

$$W = \frac{V}{3,6} - U = \frac{140}{3,6} - 5 = 34 \text{ м/сек};$$

б) Необходимое время находим по формуле (25):

$$t = \frac{A}{W} = \frac{700}{34} \approx 21 \text{ сек.}$$

На рис. 116 приведена номограмма для определения путевой скорости самолета  $W$  в км/час.

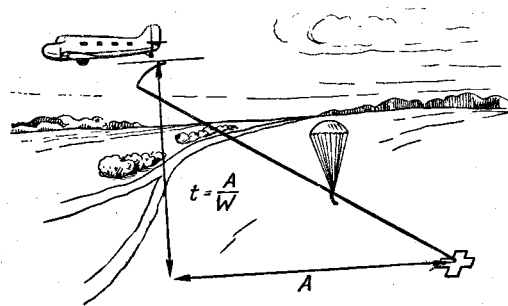


Рис. 115

На рис. 117 приведена номограмма для определения времени прохождения самолетом пути от точки желаемого приземления до места сбрасывания парашютиста по известной путевой скорости самолета  $W$  в км/час и расчетному относу  $A$  в м. Пользование этой номограммой аналогично предыдущей.

Применение того или иного способа сбрасывания парашютистов определяется главным образом конструкцией самолета. Если конструкция самолета позволяет летчику визировать желаемую точку приземления парашютистов в момент, когда самолет ее проходит (например, самолеты «По-2», «Ан-2», «Ли-2»), то целесообразно применять способ сбрасывания по времени. В то же время этот способ мало применим при прыжках парашютистов с самолета «Як-18», так как визировать ориентиры, находящиеся строго под самолетом, невозможно.

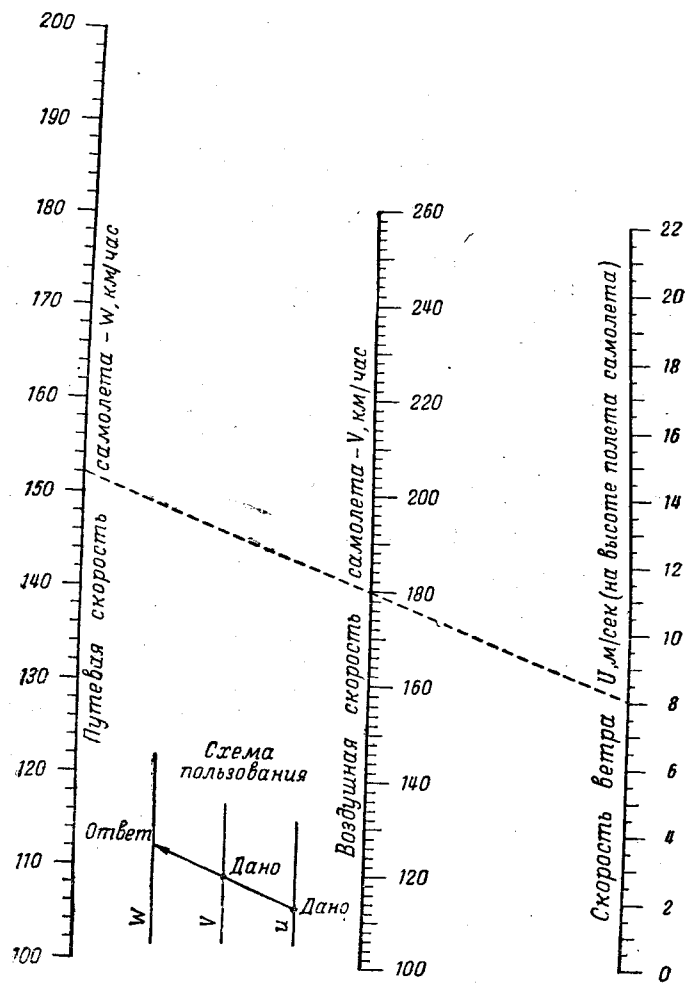


Рис. 116

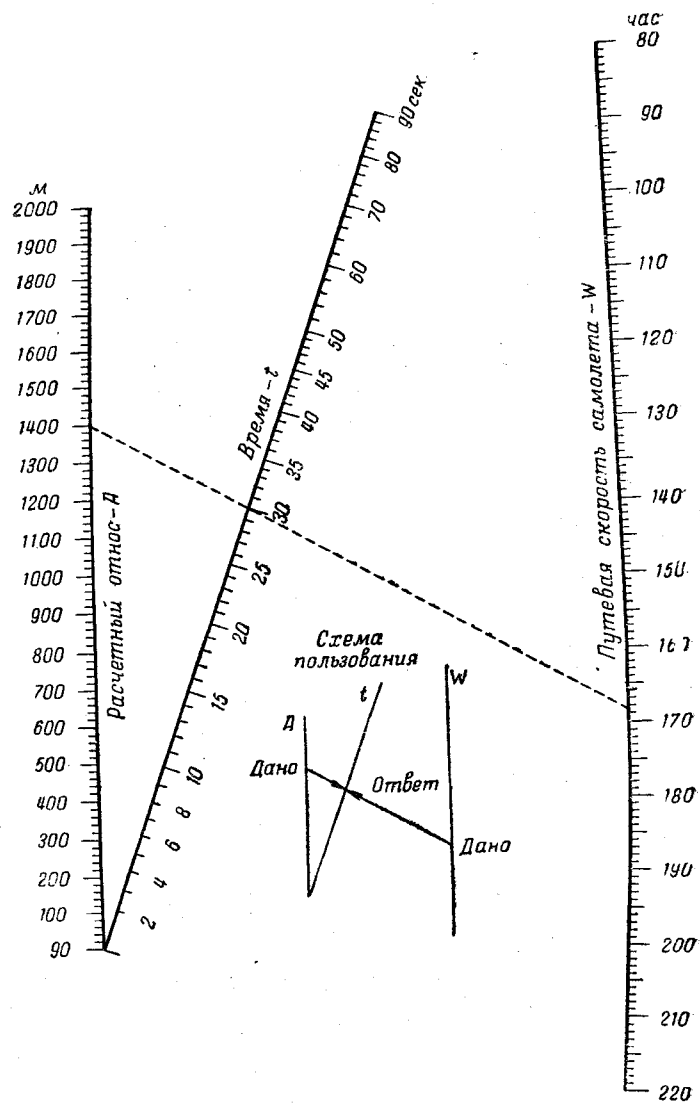


Рис. 117

Конструкция самолетов «По-2» и «Ан-2» позволяет также применять способ сбрасывания парашютистов по углу. Для самолета «Ли-2» этот способ не применим.

Определять точку отделения от самолета по углу и по времени может не только летчик, но и парашютист. Например, стоя у открытой двери самолетов «Ан-2» и «Ли-2», он может применить и тот и другой способ. Находясь же на крыле самолета «По-2», парашютист может применить определение точки отделения от самолета по углу сбрасывания. Для этого прямой угол, равный  $90^\circ$  (рис. 118), надо мысленно раз-

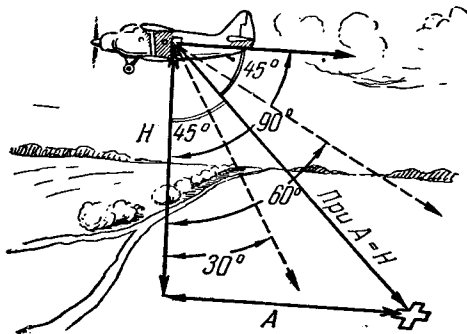


Рис. 118

бить на два равных угла для  $\varphi=45^\circ$  при  $A=H$ ; на три части этот угол следует делить для  $\varphi=30^\circ$ ;  $\varphi=60^\circ$  и т. д. Иногда полезно один способ контролировать другим. Например, парашютист, находящийся у двери самолетов «Ан-2» и «Ли-2», определяет точку отделения от самолета по времени, а затем, зная  $\varphi$ , контролирует ее по углу.

### РАСSEИВАНИЕ ПРИЗЕМЛЕНИЙ

Как бы тщательно ни был выполнен предварительный расчет прыжка и как бы правильно ни производилось управление куполом парашютиста, всегда получается некоторое рассеивание парашютистов при приземлении.

Основными причинами рассеивания являются:

- внезапное изменение направления и скорости ветра по высотам;
- различное положение главного киля при снижении (для парашютов, имеющих квадратный купол);
- неодинаковое управление парашютами при снижении;

Часть материала этого раздела взята из книги Р. А. Стасевича «Основы теории и практики прыжка с парашютом» (Воениздат, 1946).

г) различный вес парашютистов и, следовательно, различная скорость снижения;

д) отклонение от расчетных условий при выполнении прыжка — неточное выдерживание высоты и скорости полета, несвоевременное оставление самолета, неточное выполнение заданной задержки раскрытия парашюта и др.

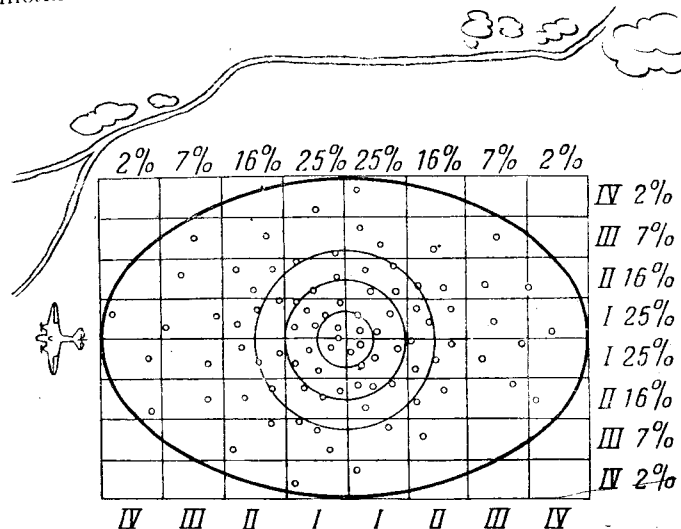


Рис. 119

Если при правильном выполнении предварительного расчета сбросить сто парашютистов, то площадь, на которой произойдет приземление, можно ограничить фигурой в виде эллипса. Этот эллипс называется эллипсом рассеивания (рис. 119). Его размеры изменяются в зависимости от условий прыжка.

Зная величину эллипса для каждого отдельного случая, которая определяется длиной его большой ( $8B_d$ ) и малой ( $8B_b$ ) оси, можно определить, достаточна ли намечаемая площадка для приземления на ней всех парашютистов. А если размеры ее недостаточны для приземления всех парашютистов, то можно определить, какую вероятность приземления парашютистов на ней можно ожидать.

Рассеивание определяется следующими законами:

а) площадь, покрытую точками приземления, можно ограничить фигурой в виде эллипса;

б) большее количество точек приземления находится вблизи центра эллипса и меньшее — у его краев;  
в) точки приземления распределяются симметрично относительно осей эллипса.

Разделим каждую ось эллипса на восемь равных частей. Эти части называют вероятными отклонениями ( $BO$ ). Вероятные отклонения по направлению полета называют вероятными отклонениями по дальности и обозначают  $B_{\partial}$ .

Вероятные отклонения, перпендикулярные к направлению полета, называют боковыми вероятными отклонениями и обозначают  $B_{\phi}$ .

Проведя через точки деления осей параллельные линии, получим полосы, симметрично расположенные относительно осей эллипса (рис. 119). Если в пределах эллипса находится 100 точек приземлений, то на первой полосе, прилегающей к оси эллипса, будет 25 точек приземлений. на второй — 16, на третьей — 7, на четвертой — 2.

Зная размеры площадки и величины вероятных отклонений, можно вычислить вероятность приземления на эту площадку и, следовательно, судить о степени ее пригодности для парашютных прыжков.

Ниже приводятся таблицы для определения величин осей эллипсов рассеивания в зависимости от скорости ветра и высоты прыжка.

Эллипсы рассеивания для индивидуального прыжка

Таблица 5

| Высота,<br>м | Скорость среднего ветра, м/сек |             |                 |             |                 |             |                 |             |                 |             |
|--------------|--------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|              | 4                              |             | 5               |             | 6               |             | 7               |             | 8               |             |
|              | $8B_{\partial}$                | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ |
| 600          | 186                            | 99          | 219             | 123         | 251             | 148         | 284             | 172         | 316             | 196         |
| 800          | 213                            | 131         | 253             | 164         | 292             | 196         | 331             | 230         | 371             | 262         |
| 1000         | 241                            | 164         | 287             | 205         | 333             | 246         | 379             | 287         | 425             | 328         |
| 1200         | 264                            | 197         | 321             | 246         | 373             | 295         | 427             | 345         | 480             | 393         |
| 1400         | 296                            | 230         | 355             | 288         | 413             | 345         | 475             | 445         | 535             | 456         |

В таблице 6 приведены величины осей эллипсов рассеивания при условии одновременного оставления самолета всеми парашютистами.

Если отделение от самолета происходит не одновременно, то к величине продольной оси эллипса, полученной из таблицы 6, надо прибавить расстояние, которое пролетит самолет за время оставления его всеми парашютистами. Это расстояние определяется из таблицы 7.

Таблица 6

Эллипсы рассеивания при групповом прыжке

| Высота,<br>м | Скорость среднего ветра, м/сек |             |                 |             |                 |             |                 |             |                 |             |                 |             |
|--------------|--------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|              | 4                              |             | 5               |             | 6               |             | 7               |             | 8               |             | 9               |             |
|              | $8B_{\partial}$                | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ |
| 600          | 243                            | 164         | 294             | 204         | 346             | 245         | 400             | 286         | 450             | 327         | 503             | 368         |
| 800          | 290                            | 217         | 352             | 272         | 416             | 325         | 480             | 380         | 543             | 435         | 607             | 490         |
| 1000         | 340                            | 272         | 410             | 340         | 485             | 410         | 560             | 475         | 636             | 545         | 710             | 610         |
| 1200         | 380                            | 325         | 468             | 410         | 555             | 490         | 640             | 570         | 728             | 650         | 815             | 740         |
| 1400         | 430                            | 365         | 528             | 480         | 625             | 570         | 720             | 670         | 820             | 760         | 920             | 870         |

Таблица 7

Расстояние, пролетаемое самолетом за время сбрасывания парашютистов

| Путевая<br>скорость<br>самолета,<br>км/час | Время оставления самолета в сек. |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  | 1                                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
| 100  | 28                               | 56  | 84  | 112 | 140 | 167 | 195 | 223 | 250 | 278 |
| 120  | 33                               | 67  | 100 | 134 | 167 | 200 | 233 | 267 | 300 | 333 |
| 140  | 39                               | 78  | 117 | 155 | 194 | 233 | 272 | 312 | 350 | 389 |
| 160  | 44                               | 89  | 133 | 178 | 222 | 267 | 312 | 365 | 400 | 444 |
| 180  | 50                               | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 |
| 200  | 55                               | 111 | 167 | 223 | 278 | 333 | 388 | 444 | 500 | 555 |
| 220  | 61                               | 123 | 183 | 245 | 306 | 367 | 428 | 489 | 550 | 611 |
| 240  | 67                               | 133 | 200 | 267 | 333 | 400 | 467 | 533 | 600 | 667 |

Из таблицы 6 видно, что даже при одновременном оставлении самолета всеми парашютистами оси эллипсов рассеивания имеют большую величину, чем при индивидуальных прыжках. Это объясняется тем, что ошибки, допускаемые при индивидуальных прыжках, достигают больших величин при групповом прыжке.

При пользовании таблицами необходимо иметь в виду, что величины эллипсов рассеивания даны из условия точного выполнения всех расчетных условий (скорости и высоты сбрасывания парашютистов, времени задержки раскрытия парашюта и др.). При несоблюдении хотя бы одного из этих условий размеры эллипсов, указанные в таблице, значительно увеличиваются. Кроме того, таблицы составлены из условия выполнения прыжков с парашютами, имеющими круглый купол, и снижения парашютистов без управления куполом парашюта.

Таблица 8

**Эллипсы рассеивания для групповых прыжков при условии управления круглым куполом в течение половины времени парашютирования**

| Высота,<br>м | Скорость среднего ветра, м/сек |             |                 |             |                 |             |                 |             |                 |             |                 |             |
|--------------|--------------------------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|-----------------|-------------|
|              | 4                              |             | 5               |             | 6               |             | 7               |             | 8               |             | 9               |             |
|              | $8B_{\partial}$                | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ | $8B_{\partial}$ | $8B_{\phi}$ |
| 600          | 31                             | —           | 82              | —           | 134             | 33          | 188             | 74          | 238             | 115         | 291             | 156         |
| 800          | 2                              | —           | 64              | —           | 128             | 37          | 192             | 92          | 255             | 147         | 319             | 202         |
| 1000         | —26                            | —           | 44              | —           | 119             | 44          | 194             | 109         | 270             | 179         | 344             | 244         |
| 1200         | —64                            | —           | 24              | —           | 111             | 46          | 196             | 126         | 284             | 206         | 371             | 296         |
| 1400         | —90                            | —           | 8               | —           | 105             | 50          | 200             | 150         | 300             | 240         | 400             | 350         |

Посмотрим, как изменяются размеры осей эллипса рассеивания при управлении куполом парашюта.

Будем считать, что парашютист среднего веса, снижающийся на парашюте с круглым куполом, создает дополнительную горизонтальную скорость 2 м/сек в течение половины времени парашютирования, что чаще всего случается в практике ( $U = 4$  м/сек).

Если при снижении парашютисты не управляют куполами парашютов, то по законам рассеивания один из парашютистов может приземлиться в точке  $A$ , другой — в точке  $B$ , причем отклонение обоих парашютистов от центра эллипса рассеивания будет одинаковым (рис. 120).

Правильно управляя куполом, первый парашютист может приземлиться в точке  $A_1$ , второй — в точке  $B_1$ .

Когда большая ось эллипса ( $8B_{\partial}$ ) уменьшится на величину ( $AA_1 + BB_1$ ) и будет равна:

$$8B_{\partial} - (AA_1 + BB_1) = 8B_{\partial} - 2AA_1 = 8B'_{\partial}.$$

Определим, на сколько уменьшится большая ось эллипса при прыжке с высоты 600 м и вследствие управления куполом парашюта.

Время парашютирования будет равно:

$$t = \frac{H - 50}{V} = \frac{600 - 50}{5} = \frac{550}{5} = 110 \text{ сек.}$$

Так как за половину времени парашютирования создается дополнительная горизонтальная скорость  $\Delta U = 2$  м/сек, можно считать, что в течение всего времени

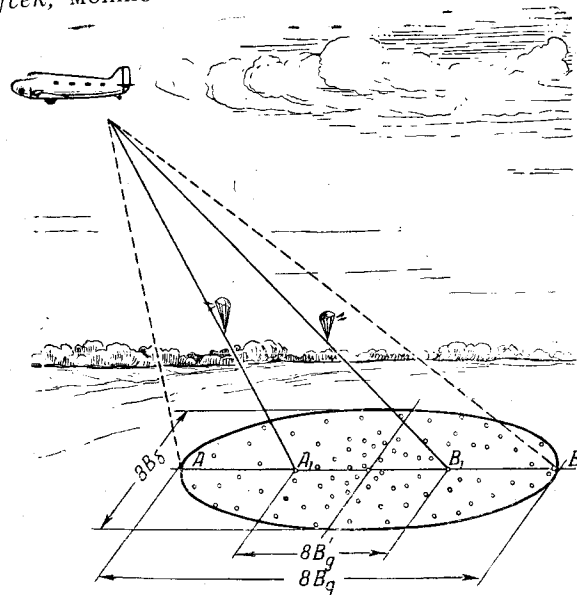


Рис. 120

парашютирования создается дополнительная горизонтальная скорость 1 м/сек.

Изменение отбоя каждого парашютиста:

$$AA_1 = BB_1 = \Delta U t = 1 \cdot 110 = 110 \text{ м.}$$



Величина большой оси эллипса при условии управления куполом парашюта:

$$8B_{\partial} = 8B_{\partial} - 2AA_1 = 243 - 2 \cdot 110 = 23 \text{ м.}$$

(величину  $8B_{\partial}$  определяем из таблицы 6).

Размеры осей эллипсов рассеивания при условии управления круглым куполом приведены в таблице 8.

Прочерки в графах означают, что величина малой оси эллипса при этих условиях и правильном управлении куполом сводится к нулю (боковое уклонение от цели отсутствует).

Знак минус перед числом означает, что это число следует вычесть из расстояния, пролетаемого самолетом за время сбрасывания парашютистов (таблица 7), а полученное после этого число принять за большую ось эллипса рассеивания.

При индивидуальных прыжках с парашютами, имеющими круглый или квадратный купол<sup>1</sup>, и при групповых прыжках с парашютом, имеющим квадратный купол, рассеивание парашютистов при правильном предварительном расчете прыжка и правильном управлении куполом парашюта может быть устранено, т. е. все парашютисты имеют возможность приземлиться в назначенном месте.

**Пример.** Определить вероятность приземления группы парашютистов на площадку размером  $150 \times 100$  м с парашютами, имеющими круглые куполы. Высота прыжка 1000 м; скорость среднего ветра 9 м/сек; путевая скорость самолета 160 км/час; время оставления самолета всеми парашютистами 6 сек. При снижении парашютисты управляют куполами парашютов.

**Решение.** Из таблицы 8 находим величину осей эллипса рассеивания:  $8B_{\partial} = 344$  м,  $8B_{\delta} = 244$  м; к большой оси эллипса прибавляем расстояние  $l = 267$  м, пролетаемое самолетом за время оставления его всеми парашютистами:  $8B_{\partial} + l = 344 + 267 = 611$  м.

<sup>1</sup> Под управлением квадратным куполом в данных условиях понимается разворот главного киля в нужное положение и натяжение соответствующих лямок в течение половины времени парашютирования. При этом относительное увеличивается в 2,5 раза по сравнению с отнесенным парашюта с круглым куполом.

Величина вероятного отклонения по дальности и боковому вероятного отклонения для эллипса рассеивания:

$$B_{\partial} = \frac{611}{8} = 76,4 \text{ м, } B_{\delta} = \frac{244}{8} = 30,5 \text{ м.}$$

Число вероятных отклонений, помещающихся в длину и ширине площадки:

$$\frac{150}{76,4} = 1,97 \text{ ВО, } \frac{100}{30,5} = 3,28 \text{ ВО.}$$

По таблице вероятностей (таблица 9) находим вероятность приземления по обеим осям эллипса. Вероятность приземления по дальности можно принять равной 49%, а по боковому отклонению — 73%; перемножив их, найдем общую вероятность приземления парашютистов на площадку заданных размеров:

$$\frac{49}{100} \cdot \frac{73}{100} \times 100\% = 35,8\% \approx 36\%.$$

Таблица 9

| Количество ВО   | 0,5 | 1  | 1,5 | 2  | 2,5 | 3  | 3,5 | 4  | 5  | 6  | 7  | 8   |
|-----------------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|-----|
| Вероятность в % | 14  | 26 | 38  | 50 | 60  | 68 | 76  | 82 | 92 | 96 | 99 | 100 |

Таким образом, только 36 процентов из всех парашютистов приземляется на площадку заданных размеров; остальные же парашютисты приземляются за пределами площадки.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Какие величины определяются при выполнении предварительного расчета прыжка?
2. Как вес парашютиста влияет на время его свободного падения?
3. Что называется относом парашютиста по ветру?
4. Что называется относом парашютиста по полету?
5. Что называется расчетным относом?
6. Каков порядок определения расчетного относа?
7. Как определить относ парашютиста по ветру и относ по полету?
8. Как определяется высота, которую теряет парашютист при выполнении задержек раскрытия парашюта?

9. Можно ли определить величину расчетного отношения парашютиста графическим способом? Каков порядок его определения?
10. В чем заключаются среднеарифметический и графический способы расчета прыжка?
11. В каких случаях применяется среднеарифметический способ расчета и в каких случаях должен производиться графический расчет прыжка?
12. Каков порядок выполнения графического расчета прыжка?
13. В чем заключается способ сбрасывания парашютистов по времени? Какие величины необходимо для этого знать?
14. В чем заключается способ сбрасывания парашютистов по углу? Какие величины должны быть известны для определения угла сбрасывания?
15. Как пользоваться номограммами для сбрасывания парашютистов по углу и по времени?
16. В каких случаях применяется способ сбрасывания по углу и в каких случаях — по времени? Можно ли применять одновременно оба способа?
17. Какие причины вызывают рассеивание парашютистов при приземлении?
18. Что называется эллипсом рассеивания? От чего зависят его размеры?
19. Что называют вероятными отклонениями по дальности и боковыми вероятными отклонениями?
20. Как распределяются (в процентах) точки приземления парашютистов относительно осей эллипса?
21. Как определить размеры эллипса рассеивания при заданных условиях прыжка?
22. Почему увеличиваются размеры осей эллипса рассеивания при выполнении групповых прыжков?
23. Что надо знать для определения величины большей оси эллипса рассеивания при групповом прыжке?
24. Каков порядок определения вероятности приземления парашютистов на площадку заданных размеров, когда размеры ее меньше размеров эллипса рассеивания?

### Задачи

1. Определить время свободного падения парашютиста:
- а) если его равновесная скорость установилась на высоте  $H = 13\,000\text{ м}$ , высота раскрытия парашюта  $H_0 = 1000\text{ м}$ ;
- б) если  $H = 10\,500\text{ м}$ ;  $H_0 = 2000\text{ м}$ ;
- в) если  $H = 9000\text{ м}$ ;  $H_0 = 1500\text{ м}$ .
2. Найти расстояние свободного падения и время, пройденное до наступления равновесной скорости при прыжках с высот: а)  $13\,808\text{ м}$ ; б)  $10\,370\text{ м}$ ; в)  $8200\text{ м}$ ; г)  $6400\text{ м}$ ; д)  $5600\text{ м}$ .

3. Сколько секунд будет продолжаться свободное падение:

- а) с высоты  $H = 7750\text{ м}$  до высоты  $H_1 = 7000\text{ м}$ ?
- б) если  $H = 5600\text{ м}$ ;  $H_1 = 5000\text{ м}$ ?
- в) если  $H = 2000\text{ м}$ ;  $H_1 = 1080\text{ м}$ ?

4. Каково время свободного падения при выполнении прыжков:

- а) с высоты  $H = 9416\text{ м}$  и раскрытии парашюта на высоте  $H_0 = 1148\text{ м}$ ?
- б) если  $H = 8356\text{ м}$  и  $H_0 = 1110\text{ м}$ ?
- в) если  $H = 8316\text{ м}$  и  $H_0 = 1265\text{ м}$ ?

5. Найти время свободного падения для парашютистов весом 100, 110, 120 и 130 кг, если время свободного падения парашютиста весом 90 кг соответственно равно: 148, 122, 112 и 93 сек.

6. По графику (рис. 110) определить высоту, которую терпит парашютист при свободном падении, задерживая раскрытие парашюта на 5, 10, 15 и 20 сек.

7. По графику (рис. 110) найти величину отношения парашютиста по полету, если:

- а) прыжок выполняется с самолета «По-2» с задержкой раскрытия парашюта 5 и 10 сек.;
- б) прыжок выполняется с самолетов «Ан-2» и «Як-18» с задержкой 10, 15 сек.;
- в) прыжок выполняется с самолета «Ли-2» с задержкой 15, 20 сек.

8. Определить величину отношения парашютиста по полету, если прыжки выполняются:

- а) с самолетов «По-2» и «Як-18» с задержкой раскрытия парашюта 5 и 10 сек. против ветра, средняя величина которого  $4\text{ м/сек}$ ;
- б) с самолетов «Ан-2» и «Ли-2» с задержкой 15 сек против ветра  $6\text{ м/сек}$ .

9. Каков будет относительный парашютиста ветром<sup>1</sup> при прыжках с высот 800, 1000 и 1500 м, если его скорость снижения равна  $5\text{ м/сек}$ , а скорость среднего ветра  $4\text{ м/сек}$ ?

10. Найти расчетный относительный парашютиста, если прыжок выполняется с самолета «По-2» без задержки раскрытия

<sup>1</sup> При решении всех задач этой главы надо считать, что прыжок выполняется с парашютом, имеющим круглый купол, и парашютист при снижении им не управляет.

<sup>2</sup> Расстояние свободного падения следует принять равным 50 м.

парашюта<sup>1</sup>; высота прыжка 800 м, скорость среднего ветра 3 м/сек, скорость снижения парашютиста 6 м/сек.

11. Определить высоту прыжка и расчетный относительный парашютиста, если прыжок выполняется с самолета «Ли-2» с задержкой 15 сек.<sup>2</sup> Скорость снижения парашютиста 4,7 м/сек, скорость среднего ветра 6 м/сек.

12. Определить расчетный относительный парашютиста и высоту прыжка, если он должен выполняться с самолета «Ан-2» с задержкой 40 сек.<sup>3</sup> Скорость снижения парашютиста 5,2 м/сек, скорость среднего ветра 6 м/сек.

13. Найти расчетный относительный парашютиста по графику рис. 111, если:

- а) высота прыжка  $H = 800$  м, вес парашютиста  $P = 70$  кг, скорость среднего ветра  $U = 7$  м/сек;
- б)  $H = 600$  м,  $P = 80$  кг,  $U = 6$  м/сек;
- в)  $H = 1000$  м,  $P = 100$  кг,  $U = 4$  м/сек;
- г)  $H = 1500$  м,  $P = 90$  кг,  $U = 5$  м/сек.

14. Найти по графику рис. 111 расчетный относительный парашютиста при прыжке с высоты 600 м; вес парашютиста 70 кг, скорость среднего ветра и его направление определить среднеарифметическим способом по следующим шаропилотным данным:

| Высота, м                    | 0  | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
|------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Направление ветра в градусах | 50 | 53  | 58  | 62  | 60  | 65  | 70  |
| Скорость ветра, м/сек        | 5  | 6   | 8   | 6   | 4   | 5   | 8   |

<sup>1</sup> При немедленном раскрытии парашюта расстояние свободного падения и относительный по полету следует считать равными 50 м.

<sup>2</sup> При выполнении прыжков с самолетов различных типов скорость самолета при выброске парашютистов надо принимать ту, которая указана для данного типа самолета на графике (рис. 110). При прыжках с задержкой раскрытия парашюта к расстоянию свободного падения нужно прибавлять 50 м на раскрытие парашюта.

<sup>3</sup> При прыжках с задержкой раскрытия более 15 сек. относительный по полету следует считать равным отношению за 15 сек. и вычесть из него расстояние, пройденное ветром (воздушной массой) за время заданной задержки.

15. Каким способом при шаропилотных данных, приведенных ниже, необходимо производить расчет прыжка? Почему?

| Высота, м                    | 0   | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Направление ветра в градусах | 125 | 130 | 137 | 132 | 141 | 148 | 156 | 152 | 155 |
| Скорость ветра, м/сек        | 4   | 3   | 5   | 4   | 7   | 6   | 8   | 9   | 10  |

16. По шаропилотным данным а, б, в, приведенным ниже, произвести расчет прыжка графическим способом (определить величину расчетного относительного парашютиста и заданный магнитный путевой угол),  $\Delta M = -10^\circ$ . Принять скорость снижения парашютиста  $V = 5$  м/сек. Величину средней скорости ветра округлить до целых чисел.

а

| Высота, м                    | 0   | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Направление ветра в градусах | 229 | 179 | 245 | 240 | 244 | 252 | 257 | 261 | 265 |
| Скорость ветра, м/сек        | 5   | 7   | 6   | 8   | 9   | 12  | 8   | 12  | 11  |

б

| Высота, м                    | 0  | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 |
|------------------------------|----|------|------|------|------|------|------|
| Направление ветра в градусах | 50 | 140  | 155  | 270  | 285  | 162  | 235  |
| Скорость ветра, м/сек        | 5  | 8    | 7    | 16   | 8    | 12   | 10   |

| Высота, м                    | 0  | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
|------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Направление ветра в градусах | 25 | 69  | 83  | 75  | 80  | 88  | 94  | 100 | 90  | 104 | 209  |
| Скорость ветра, м/сек        | 3  | 6   | 5   | 7   | 11  | 10  | 12  | 12  | 11  | 10  | 9    |

17. Определить время, за которое самолет проходит от точки желаемого приземления до места сбрасывания парашютистов, если:

- а) путевая скорость самолета  $W = 100$  км/час, расчетный относ  $A = 200$  м;  
 б)  $W = 90$  км/час,  $A = 250$  м;  
 в)  $W = 120$  км/час,  $A = 400$  м;  
 г)  $W = 36$  м/сек,  $A = 1,1$  км;  
 д)  $W = 42$  м/сек,  $A = 0,8$  км;  
 е) воздушная скорость самолета  $V = 100$  км/час, скорость ветра  $U = 3$  м/сек (сбрасывание парашютистов производится против ветра), расчетный относ  $A = 600$  м;  
 ж)  $V = 130$  км/час,  $U = 5$  м/сек,  $A = 500$  м;  
 з)  $V = 110$  км/час,  $U = 4$  м/сек,  $A = 700$  м.

18. По номограмме (рис. 117) найти время прохождения самолетом пути от точки желаемого приземления до места сбрасывания парашютистов, если:

- а) путевая скорость самолета  $W = 140$  км/час и расчетный относ  $A = 400$  м;  
 б)  $W = 160$  км/час,  $A = 750$  м;  
 в)  $W = 180$  км/час,  $A = 870$  м;  
 г)  $W = 146$  км/час,  $A = 920$  м;  
 д) воздушная скорость самолета  $V = 170$  км/час, скорость ветра  $U = 6$  м/сек и расчетный относ  $A = 780$  м;  
 е)  $V = 200$  км/час,  $U = 7$  м/сек,  $A = 830$  м;  
 ж)  $V = 220$  км/час,  $U = 8$  м/сек,  $A = 1,2$  км.

19. По номограмме (рис. 114) найти значения углов сбрасывания парашютистов, если:

- а) высота прыжка  $H = 800$  м и расчетный относ  $A = 600$  м;  
 б)  $H = 600$  м,  $A = 700$  м;

- в)  $H = 1000$  м,  $A = 900$  м;  
 г)  $H = 1200$  м,  $A = 1000$  м;  
 д)  $H = 1500$  м,  $A = 1,2$  км.

20. Найти необходимые величины для сбрасывания парашютистов по времени и для одновременного контроля по углу сбрасывания, если:

- а) высота сбрасывания  $H = 600$  м, путевая скорость самолета  $W = 100$  км/час и расчетный относ  $A = 400$  м;  
 б)  $H = 800$  м,  $W = 130$  км/час,  $A = 1400$  м;  
 в)  $H = 1000$  м,  $W = 150$  км/час,  $A = 1100$  м;  
 г)  $H = 1200$  м,  $W = 140$  км/час,  $U = 6$  м/сек,  $A = 700$  м;  
 д)  $H = 1500$  м,  $V = 180$  км/час,  $U = 8$  м/сек,  $A = 2$  км.

21. Высота прыжка  $H = 600$  м, воздушная скорость самолета  $V = 140$  км/час, скорость снижения парашютиста  $V_1 = 4,7$  м/сек, раскрытие парашюта — немедленно после отделения от самолета; сбрасывание производится по времени. Рассчитать прыжок, определив скорость и направление среднего ветра по следующим шаропилотным данным:

| Высота, м                    | 0  | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
|------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Направление ветра в градусах | 14 | 16  | 21  | 23  | 28  | 32  | 34  |
| Скорость ветра, м/сек        | 1  | 3   | 2   | 4   | 3   | 3   | 5   |

22. Парашютист, имеющий скорость снижения  $V = 5,3$  м/сек, должен выполнить прыжок из самолета «Як-18» с задержкой раскрытия парашюта 15 сек. Определить высоту сбрасывания парашютиста и рассчитать прыжок, если скорость среднего ветра  $U_{\text{ср}} = 8$  м/сек (сбрасывание парашютиста должно производиться по времени).

23. Пользуясь приведенными выше графиками и номограммами, произвести расчет прыжка по следующим данным:

- а) высота прыжка  $H = 600$  м, вес парашютиста  $P = 60$  кг, скорость среднего ветра  $U_{\text{ср}} = 3$  м/сек, сбрасывание

сывание парашютиста с самолета «По-2» производится по углу;

б) высота прыжка  $H = 800$  м, вес парашютиста  $P = 80$  кг, скорость среднего ветра  $U_{\text{ср}} = 7$  м/сек, сбрасывание парашютиста с самолета «Ли-2» производится по времени;

в) задержка раскрытия парашюта  $t = 15$  сек.,  $V_{\text{сн}} = 6,2$  м/сек,  $U_{\text{ср}} = 4$  м/сек,  $V = 140$  км/час. Сбрасывание производится по времени;

г)  $t = 10$  сек.,  $V_{\text{сн}} = 5,6$  м/сек,  $U_{\text{ср}} = 5$  м/сек,  $V = 160$  км/час, сбрасывание парашютиста производится по углу.

24. По шаропилотным данным, приведенным ниже, сделать графический расчет прыжка и рассчитать данные для сбрасывания парашютиста по времени с одновременным контролем сбрасывания по углу, если:

а)  $H = 1000$  м,  $V_{\text{сн}} = 5,5$  м/сек,  $W = 155$  км/час.

| Высота, м                    | 0   | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Направление ветра в градусах | 185 | 191 | 202 | 198 | 207 | 215 | 224 | 210 | 226 | 240 | 258  |
| Скорость ветра, м/сек        | 3   | 4,5 | 6   | 2   | 5,5 | 6   | 8   | 7,5 | 9   | 8   | 11   |

б)  $H = 800$  м;  $V_{\text{сн}} = 6,3$  м/сек,  $W = 170$  км/час.

| Высота, м                    | 0   | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Направление ветра в градусах | 310 | 315 | 323 | 320 | 331 | 338 | 345 | 358 |
| Скорость ветра, м/сек        | 2   | 3,5 | 2,5 | 4   | 6,5 | 8   | 8,5 | 9,5 |

25. Определить минимальные размеры площадки для приземления всех парашютистов при выполнении индивидуальных прыжков, если:

- а) высота прыжка  $H = 600$  м, скорость ветра  $U = 5$  м/сек;  
 б)  $H = 800$  м,  $U = 7$  м/сек;  
 в)  $H = 1000$  м,  $U = 8$  м/сек;  
 г)  $H = 1400$  м,  $U = 4$  м/сек.

26. Определить минимальные размеры площадки для приземления всех парашютистов при выполнении групповых прыжков без управления куполом парашюта, если:

- а) высота прыжка  $H = 600$  м, скорость ветра  $U = 4$  м/сек;  
 б)  $H = 1400$  м,  $U = 9$  м/сек.

Все парашютисты оставляют самолет одновременно. 27. Определить необходимые размеры площадки для приземления всех парашютистов при выполнении групповых прыжков и при условии управления куполом в течение половины времени парашютирования, если:

- а) высота прыжка  $H = 600$  м, скорость ветра  $U = 6$  м/сек;  
 б)  $H = 800$  м,  $U = 5$  м/сек;  
 в)  $H = 1000$  м,  $U = 8$  м/сек.

28. На сколько метров увеличится большая ось эллипса рассеивания при выполнении групповых прыжков, если:

- а) путевая скорость самолета  $W = 100$  км/час, а трое парашютистов отделяются от самолета в течение двух секунд?  
 б) пять парашютистов отделяются с интервалом в 1 сек. при  $W = 180$  км/час?  
 в) при  $W = 200$  км/час группа парашютистов покидает самолет в течение 10 сек.?

29. Определить вероятность приземления парашютистов на площадку размером  $250 \times 200$  м при выполнении индивидуальных прыжков с высоты  $H = 600$  м при скорости среднего ветра  $U_{\text{ср}} = 5$  м/сек (управление куполом не производится).

30. Группа парашютистов выполняет прыжок с парашютами, имеющими круглый купол. Высота прыжка  $H = 800$  м, скорость среднего ветра  $U_{\text{ср}} = 7$  м/сек. Определить вероятность приземления парашютистов на опушку леса размером  $200 \times 100$  м, если путевая скорость самолета  $W = 180$  км/час, время оставления его всеми парашютистами — 8 сек. При снижении производится управление куполами парашютов.

31. Определить вероятность приземления группы парашютистов на стадион размером  $100 \times 50$  м, если высота прыжка  $H = 800$  м, а путевая скорость самолета  $W = 130$  км/час, скорость среднего ветра  $U_{\text{ср}} = 3$  м/сек и время оставления самолета всеми парашютистами 8 сек. При снижении производится управление куполами парашютов.

32. С высоты  $H = 600$  м выполняется групповой прыжок на точность приземления из самолета «Ан-2» с парашютами, имеющими круглый купол. Скорость снижения среднего по весу парашютиста  $V_{\text{сн}} = 4,7$  м/сек. Рассчитать прыжок и определить вероятность приземления парашютистов в круг диаметром 60 м, если они оставляют самолет за 4 сек. Сбрасывание производится по времени. Шаропилотные данные следующие:

| Высота, м                    | 0  | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 |
|------------------------------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Направление ветра в градусах | 21 | 23  | 24  | 29  | 31  | 30  | 32  |
| Скорость ветра, м/сек        | 3  | 5   | 4   | 3,5 | 5   | 7,5 | 8   |

33. Групповой прыжок на точность приземления выполняется с высоты  $H = 800$  м из самолета «Ли-2» с парашютами, имеющими квадратный купол. Скорость снижения среднего по весу парашютиста  $V_{\text{сн}} = 5,3$  м/сек. Рассчитать прыжок и определить вероятность приземления парашютистов в круг диаметром 80 м. Сбрасывание парашютистов производится по времени с одновременным контролем по углу. Время оставления самолета всеми парашютистами — 5 сек.

Шаропилотные данные следующие:

| Высота, м                    | 0   | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Направление ветра в градусах | 190 | 192 | 190 | 194 | 200 | 204 | 208 | 212 | 210 |
| Скорость ветра, м/сек        | 5   | 5   | 6,5 | 6   | 6,5 | 8,5 | 8   | 7,5 | 9   |

34. С самолета «Ан-2» выполняется комбинированный групповой прыжок с задержкой раскрытия парашюта 10 сек. (Комбинированные прыжки, так же как и прыжки с задержкой раскрытия парашюта, выполняются с парашютами, имеющими квадратный купол.) Раскрытие парашюта на высоте  $H_0 = 750$  м. Скорость снижения среднего по весу парашютиста  $V_{\text{сн}} = 5,6$  м/сек. Определить высоту сбрасывания, рассчитать прыжок и найти вероятность приземления парашютистов в круг диаметром 100 м, если они оставляют самолет за 3 сек. Сбрасывание производится по времени с контролем по углу. Шаропилотные данные следующие:

| Высота, м                    | 0   | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| Направление ветра в градусах | 258 | 260 | 261 | 265 | 267 | 260 | 262 | 263 | 266 | 271 | 274  | 270  | 265  |
| Скорость ветра, м/сек        | 3,5 | 5   | 4   | 3,5 | 6   | 7   | 9,5 | 9   | 8   | 9   | 8,5  | 6    | 6,5  |

## ГЛАВА V

### РАСЧЕТ ПАРАШЮТА НА ПРОЧНОСТЬ

#### НОРМЫ ПРОЧНОСТИ ПАРАШЮТОВ

Чтобы определить прочность какой-либо конструкции, производят расчет на прочность. Для этого необходимо знать:

- а) наибольшую нагрузку, которую испытывает конструкция в процессе эксплуатации;
- б) материал для изготовления и его прочность;
- в) коэффициенты запаса прочности для отдельных деталей конструкции.

При эксплуатации парашюта наибольшей нагрузкой будет та, которую он испытывает при раскрытии. Прочность материалов, применяемых в парашютостроении, приводится в таблице 10.

Таблица 10

| Наименование материала<br>или детали | Разрушающее усилие в кг <sup>1</sup> |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Перкаль                              | 520                                  |
| Шелк                                 | 800 — 900                            |
| Стропы хлопчатобумажные              | 125                                  |
| Стропы шелковые                      | 150                                  |
| Лямки                                | 1100 — 1200                          |
| Металлические пряжки                 | 1800                                 |

<sup>1</sup> Разрушающее усилие для перкаля и шелка дается в кг 1 пог. м, а для строп, лямок и пряжек — на одну единицу.

Коэффициентом запаса прочности называется отношение разрушающей нагрузки к наибольшей нагрузке, которая возникает в процессе эксплуатации, т. е.

$$K = \frac{F_{\text{разр}}}{F_{\text{экспл}}}, \quad (26)$$

где  $K$  — коэффициент запаса прочности детали;  
 $F_{\text{разр}}$  — статическая (т. е. возрастающая постепенно) разрушающая нагрузка, наблюдается при испытании материала на разрыв;  
 $F_{\text{экспл}}$  — наибольшая эксплуатационная нагрузка.  
 Чем больше коэффициент запаса прочности, тем прочнее деталь. Но при этом требуется больше материала на ее изготовление, что приводит к утяжелению конструкции.

При снижении коэффициента запаса прочности понижается прочность детали, уменьшается ее вес и расход материала. Поэтому при выборе величины коэффициента запаса прочности необходим всесторонний учет всех факторов, некоторые из которых являются противоречивыми.

В таблице 11 приведены значения коэффициентов запаса прочности отдельных деталей парашюта.

Таблица 11

| Наименование детали  | Коэффициент запаса прочности $K$ |
|----------------------|----------------------------------|
| Материал купола      | 19 — 25                          |
| Стропы               | 7,2                              |
| Подвесные лямки      | 8,1                              |
| Металлические пряжки | 11,2                             |

Такие высокие значения коэффициента запаса прочности в парашютостроении объясняются следующими причинами:

- а) парашют является конструкцией переменной формы;
- б) само раскрытие может происходить по-разному, поэтому одни части парашюта могут перегружаться, а другие — недогружаться;

в) материалы, применяемые в парашютостроении, не обладают равномерной прочностью; кроме того, прочность их понижается с течением времени и особенно при неправильной эксплуатации;

г) методы расчета деталей парашюта на прочность не являются совершенными, поэтому фактическая нагрузка часто превышает расчетную.

Расчет деталей на прочность выполняется в следующем порядке:

а) определяют наибольшую эксплуатационную нагрузку;

б) находят нагрузку, действующую на одну деталь (лямку, стропу);

в) по формуле (26) подсчитывают коэффициент запаса прочности для этой детали;

г) сравнивают полученный коэффициент запаса прочности с приведенным в таблице 11; если фактический коэффициент будет меньше принятого, изменяют факторы, влияющие на него, и снова производят расчет в той же последовательности до тех пор, пока фактический коэффициент не станет равен расчетному или не превысит его.

Например, надо рассчитать прочность хлопчатобумажных строп парашюта, нагрузка при раскрытии которого составляет 450 кг; число строп — 24.

Находим нагрузку на одну стропу:

$$\frac{450}{24} = 18,8 \text{ кг.}$$

Подсчитываем коэффициент запаса прочности для строп:

$$K_{\text{факт}} = \frac{F_{\text{разр}}}{F_{\text{экспл}}} = \frac{125}{18,8} = 6,65.$$

Сравнивая полученный коэффициент запаса прочности с приведенным в таблице, видим, что он меньше принятого для строп, т. е.  $K_{\text{факт}} < K_{\text{расч}}$ , так как  $K_{\text{расч}} = 7,2$ .

Для повышения  $K_{\text{факт}}$  можно заменить хлопчатобумажные стропы шелковыми.

При этом  $K_{\text{факт}} = \frac{150}{18,8} = 8$ , т. е.  $K_{\text{факт}} > K_{\text{расч}}$ .

Но на перкалевый парашют шелковые стропы не ставят. Тогда можно увеличить число строп, например до 28.

В этом случае  $\frac{450}{28} = 16,1 \text{ кг}$ ;  $K_{\text{факт}} = \frac{125}{16,1} = 7,75 > K_{\text{расч}}$ .

Если нежелательно увеличивать количество строп, то можно повысить величину  $K_{\text{факт}}$  снижением нагрузки при раскрытии парашюта.

При нагрузке на купол 415 кг будем иметь:

$$\frac{415}{24} = 17,3 \text{ кг}; K_{\text{факт}} = \frac{125}{17,3} = 7,2 = K_{\text{расч}}.$$

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗКИ НА ПАРАШЮТ ПРИ ЕГО РАСКРЫТИИ

В момент раскрытия парашюта происходит резкое изменение скорости движения парашютиста (потеря его кинетической энергии), которое воспринимается как удар.

Определять нагрузку на парашют при его раскрытии можно двумя способами. Рассмотрим их на примере.

Парашютист весом 80 кг раскрывает парашют при скорости падения 60 м/сек, время погашения скорости до 5 м/сек — 2 сек.

1-й способ. Величину нагрузки на парашют определяем по формуле (11)

$$Q = G + ma,$$

где  $G$  — вес парашютиста в кг;

$m$  — его масса в  $\frac{\text{кг} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$ ;

$a = \frac{V_0 - V}{t}$  — среднее ускорение, испытываемое парашютистом (направление его не учитываем), в м/сек<sup>2</sup>.

Следовательно, средняя нагрузка в процессе раскрытия парашюта равна:

$$Q = G + \frac{m(V_0 - V)}{t} = 90 + \frac{90(60 - 5)}{9,8 \cdot 2} = 340 \text{ кг.}$$



2-й способ. Величина нагрузки на парашют определяется как сила, вызывающая изменение кинетической энергии парашютиста на пути его движения до момента полного раскрытия парашюта (считаем его равным  $l = 65$  м). Для этого пользуемся формулой:

$$\frac{mV_0^2}{2} - \frac{mV^2}{2} = Ql, \quad (27)$$

т. е. изменение кинетической энергии падающего парашютиста равно работе<sup>1</sup> силы торможения  $Q$  на пути  $l$ .

Из этой формулы находим величину средней нагрузки на парашют при его раскрытии<sup>2</sup>, которая с учетом силы тяжести равна:

$$Q = \frac{mV_0^2}{2l} + G = \frac{G \cdot V_0^2}{2lg} + G = \frac{90 \cdot 60^2}{2 \cdot 65 \cdot 9,8} + 90 \approx 340 \text{ кг.}$$

Таким образом, для определения нагрузки на парашют при его раскрытии по первому способу надо знать время раскрытия парашюта, а для определения его по второму способу — высоту, которую теряет парашютист за время раскрытия парашюта. Надо помнить, что при этом мы определяем только среднюю величину нагрузки. Максимальная нагрузка может в 2—3 раза превышать ее среднее значение.

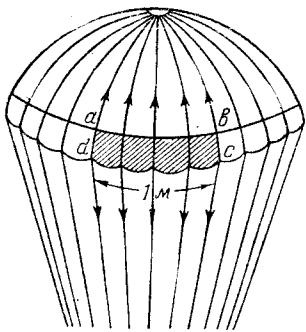


Рис. 121

### РАСЧЕТ КУПОЛА

Для приближенного определения усилий, действующих на материал купола, условно считают, что купол имеет сферическую форму, а нагрузка по всей его площади распределяется равномерно.

Если выделить полосу материала и разбить ее на отрезки шириной в 1 погонный метр, то можно считать, что каждый прямоугольник (например,

$abcd$ ) работает на разрыв под действием усилий, нагружающих купол при его раскрытии (рис. 121).

Разрывающее усилие, действующее на полосу материала шириной в 1 погонный метр, определяется по формуле:

$$q = \frac{Q}{\pi DE} [\text{кг}],$$

где  $E$  — отношение диаметра купола раскрытого парашюта к диаметру развернутого купола (принимается равным 0,6—0,65).

Эта формула упрощается, если вместо  $\pi$  и  $E$  подставить их числовые значения. Тогда

$$q \approx \frac{Q}{2D} [\text{кг}], \quad (28)$$

где  $Q$  — нагрузка на купол при его раскрытии в кг;

$D$  — диаметр развернутого купола в м.

Из формулы (28) видно, что нагрузка на материал купола тем больше, чем больше нагрузка при раскрытии парашюта и меньше его диаметр.

### ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОВТОРЕНИЯ

1. Что необходимо знать для расчета детали парашюта на прочность?
2. Укажите величину разрушающих усилий для материалов, применяемых в парашютостроении.
3. Что называется коэффициентом запаса прочности?
4. Какова наименьшая величина коэффициента запаса прочности для отдельных деталей парашюта?
5. Почему в парашютостроении принимаются более высокие значения коэффициентов запаса прочности, чем в самолетостроении?
6. В каком порядке производится расчет деталей парашюта на прочность?
7. Какими способами можно повысить величину коэффициента запаса прочности?
8. Объясните два способа определения нагрузки на парашют при его раскрытии.
9. Как определяется разрывающее усилие, действующее на материал парашюта с круглым куполом?

### Задачи

1. Рассчитать прочность деталей парашюта ПД-6Р ( $D = 8,76$  м) при его раскрытии на скорости 55 м/сек, время раскрытия парашюта 1,5 сек., вес парашютиста (с

<sup>1</sup> Работой называется величина, измеряемая произведением силы на путь перемещения тела по направлению силы.

<sup>2</sup> Квадратом скорости снижения по сравнению с квадратом скорости падения можно пренебречь.

парашютами) 110 кг. Скорость снижения после раскрытия парашюта 5 м/сек.

Решение. Нагрузку при раскрытии парашюта определяем по формуле:

$$Q = G + ma = G + \frac{G(V_0 - V)}{gt} = 110 + \frac{110 \cdot 55 - 5}{9,9 \cdot 1,5} = 110 + 374 = 480 \text{ кг.}$$

Нагрузка на материал купола:

$$g = \frac{Q}{2 \cdot D} = \frac{480}{2 \cdot 8,76} = 27,4 \text{ кг на 1 пог.м;}$$

коэффициент запаса прочности материала купола:

$$K_1 = \frac{520}{27,4} = 19;$$

нагрузка на одну лямку:

$$Q' = \frac{Q}{4} = \frac{480}{4} = 120 \text{ кг;}$$

коэффициент запаса прочности для лямок:

$$K_2 = \frac{1150}{120} = 9,6;$$

нагрузка на одну стропу:

$$Q'' = \frac{Q}{28} = \frac{480}{28} = 1,73 \text{ кг;}$$

коэффициент запаса прочности для стропы:

$$K_3 = \frac{125}{17,3} = 7,2 \text{ кг.}$$

Прочность карабинов пряжек и других металлических деталей определяется опытным путем при их испытании на специальных машинах.

2. Определить среднюю нагрузку при раскрытии парашюта на скорости 45 м/сек; время раскрытия парашюта

3 сек.; скорость снижения после раскрытия парашюта 4,7 м/сек; вес парашютиста 70 кг.

3. Какая средняя нагрузка действует на парашют при его раскрытии на скорости 50 м/сек, если высота, которую теряет парашютист за время раскрытия парашюта, равна 50 м; вес парашютиста 85 кг.

4. Рассчитать запас прочности деталей парашюта ПТ-1А ( $D = 8,76 \text{ м}$ ) при его раскрытии на скорости 60 м/сек; вес парашютиста 120 кг; потеря высоты при раскрытии парашюта — 60 м.

5. Рассчитать запас прочности деталей парашюта ПЗ-41А ( $S = 42,5 \text{ м}^2$ ) при его раскрытии на скорости 55 м/сек; вес парашютиста 100 кг, время раскрытия парашюта 1,5 сек., скорость снижения после раскрытия парашюта 5 м/сек.

6. Летчик отделяется от самолета на скорости 250 км/час и немедленно раскрывает парашют (задержка раскрытия 0,5 сек.); время раскрытия парашюта 1,5 сек.; вес летчика 90 кг; скорость снижения после раскрытия парашюта 4 м/сек. Рассчитать для этих условий усилие при раскрытии парашюта ПЛК-45 (см. график на рис. 51).

7. Для условия предыдущей задачи рассчитать запас прочности деталей парашюта ПЛК-45, если сделана задержка раскрытия парашюта 5 сек.

8. Парашютист весом 80 кг имеет скорость падения 53 м/сек и раскрывает парашют при попадании в восходящий поток воздуха, скорость которого 7 м/сек. Определить, на сколько возрастает нагрузка при раскрытии парашюта в течение 2,5 сек.; скорость снижения после раскрытия парашюта (относительно воздуха) 5 м/сек.

## Ответы на задачи

### К главе I

1.  $\approx 80,6$  кг.
2.  $\approx 72$  кг.
3. 30 кг; при  $Q = 90$  кг.
4.  $\approx 22$  кг.
5. На величину более  $7 \text{ м}^2$ .
6.  $\approx 1000$  кг;  $\approx 500$  кг.
7.  $\approx 173$  кг; 200 кг.
8. Когда веревки параллельны.
9. 1000 кг.
10. 40 кг;  $\approx 69,3$  кг.
11.  $M_1 = M_3 = 1,5$  кгм;  $M_2 = 1$  кгм.
12. Через 180 сек.
13.  $\approx 1000$  м.
14.  $\approx 4,9$  м/сек.
15.  $-20$  м/сек<sup>2</sup>.
16. 5 м/сек.
17.  $\approx 7$  м/сек;  $\approx 5,4$  м/сек; 3 м/сек.
18. Для уменьшения суммарной скорости приземления желательно производить приземление со стороны склона, на который дует ветер (рис. 122).

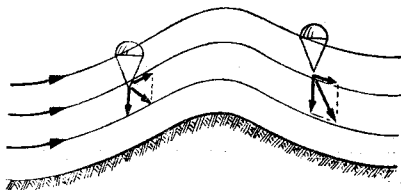


Рис. 122

19.  $\approx$  на 115 сек.
20.  $\approx 14$  кг.
21.  $\approx 183$  кг.
22.  $\approx 65$  кг.

### К главе II

1.  $\approx 100$  кг.
2.  $\approx 95$  кг.
3.  $\approx 0,91$ .
4.  $\approx 35$  м/сек;  $\approx 42$  м/сек;  $\approx 45$  м/сек;  $\approx 40$  м/сек;  $\approx 60$  м/сек;  $\approx 80$  м/сек.
5.  $\approx 46$  м/сек.
6.  $\approx 45^\circ$ .
7.  $\approx 2$ .

8.  $\approx 7$ .
9.  $\approx 5,2$  м/сек.
10.  $\approx 0,3$  кг.
11.  $\approx 8,5$  м.
12.  $\rho \approx 34$  кг.
13.  $\approx 4,6$  м/сек.
14. 3 м/сек.
15. а)  $\approx 16$ ; б)  $\approx 4,25$ ; в)  $\approx 1,3$ .
16. а)  $\approx 32$ ; б)  $\approx 8,5$ ; в)  $\approx 2,55$ .

### К главе III

2.  $\approx 7$  м/сек.
3. На 1 м/сек.
4. 1 м/сек.
6. На 80 м.
7. На 1 м/сек.
8. Создать дополнительную горизонтальную скорость  $\Delta U$ , перпендикулярную скорости ветра  $U$  (рис. 123).
9.  $\approx 3,6$  м/сек; необходимо уменьшить скорость  $\Delta U$ .
10.  $\approx 1,2$  м/сек; 2 м/сек.
11. Правильно действует парашютист, стремящийся перемещаться по направлению к условной точке А.

12. 6 м/сек.
13. 620 м.
14.  $\approx 167$  м.
15.  $\approx 1950$  м.
16.  $R \approx 300$  м.
17. а)  $R \approx 380$  м; б)  $R \approx 580$  м.
18. На 2 м/сек.
19. На 1,5 м/сек.
20. 2 м/сек.
21. 15 сек.
22. Может при создании горизонтальной скорости 2 м/сек.

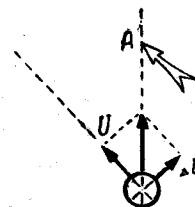


Рис. 123

23.  $\approx 490$  м.
24.  $\approx$  на 5 сек.
25. 100 м.
26.  $H_1 = 125$  м;  $H_2 = 250$  м.
27. 30 сек.
28. Второй парашютист догонит первого через 20 сек., третий — через 27 сек.
29. а) 7,8 м/сек; б)  $\approx 6,7$  м/сек; в)  $\approx 9,2$  м/сек.
30. а)  $\approx 9,7$  м/сек; б)  $\approx 5,7$  м/сек.
31. а) 6 м/сек; б) 4 м/сек; в) 8 м/сек; г) 2 м/сек.
32. На 600 м.
33. Против ветра.
34. На 3 м/сек.
35. На 450 м.
36.  $\approx 600$  м.
45. 6—9,2 м/сек.
46. а)  $R_1 \approx 340$  м; б)  $R_2 \approx 510$  м.
47. а)  $R_1 \approx 425$  м;  $R_2 \approx 640$  м; б)  $R_1 \approx 640$  м;  $R_2 \approx 960$  м.

48. 480 м.  
49.  $\approx 580$  м.  
50.  $\approx 850$  м.  
51.  $\approx 160$  м.  
52. 285 м.

53. Может, создав дополнительную горизонтальную скорость 1 м/сек.

54.  $\approx 6,1$  м/сек.  
55. 2,5 м/сек.  
56. Через 15 сек.  
57. а) 11 сек.; б) 19 сек.  
58.  $\approx 690$  м.  
71. Величина общего отношения  $AD$  не изменилась.  
72.  $H_2 \approx 95$  м;  $H_1 = 375$  м.  
73.  $H \approx 190$  м.  
74.  $H_1 \approx 150$  м;  $H_2 \approx 440$  м.

#### К главе IV

1. а)  $\approx 206$  сек.; б)  $\approx 152$  сек.; в)  $\approx 141$  сек.  
2. а) 700 м; 20,8 сек.; б) 550 м; 16,4 сек.; в) 485 м; 14,5 сек.; г) 435 м; 13 сек.; д) 410 м; 12,3 сек.  
3. а)  $\approx 12,4$  сек.; б)  $\approx 11$  сек.; в)  $\approx 21$  сек.  
4. в)  $\approx 163$  сек.; б)  $\approx 127$  сек.; в)  $\approx 123$  сек.  
5.  $\approx 145$  сек.;  $\approx 117$  сек.;  $\approx 105$  сек.;  $\approx 86$  сек.  
6. 110 м; 335 м; 580 м; 830 м; 830 м.  
7. а)  $\approx 110$  м;  $\approx 150$  м; б)  $\approx 190$  м;  $\approx 210$  м; в)  $\approx 250$  м; 250 м;  
8. а)  $\begin{matrix} 90 \text{ м} \\ 110 \text{ м} \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} \text{«По-2»;} \\ \text{«Як-18»;} \end{matrix} \right.$  б) 70 м — «Ан-2»;  
120 м }  
150 м } 160 м — «Ли-2»;  
9. 600 м; 760 м; 1160 м.  
10. 325 м  
11. 770 м; 1350 м.  
12.  $\approx 910$  м; 2400 м;  
13. а)  $\approx 1050$  м; б)  $\approx 600$  м; в)  $\approx 450$  м; г)  $\approx 1050$  м.  
14.  $\approx 650$  м; 6 м/сек;  $\approx 60^\circ$ .  
15. Расчет надо производить графическим способом, так как направление ветра отклоняется от своего среднего значения на  $17^\circ$ , а скорость ветра на 4 м/сек.  
16. а)  $\approx 1400$  м;  $\approx 255^\circ$ ; б)  $\approx 750$  м;  $\approx 220^\circ$ ; в)  $\approx 1730$  м;  $\approx 105^\circ$ .  
17. а)  $\approx 7$  сек.; б)  $\approx 10$  сек.; в)  $\approx 12$  сек.; г)  $\approx 31$  сек.; д)  $\approx 19$  сек.;  
е)  $\approx 24$  сек.; ж)  $\approx 15$  сек.; з)  $\approx 26$  сек.  
18. а)  $\approx 10$  сек.; б)  $\approx 17$  сек.; в)  $\approx 17$  сек.; г)  $\approx 23$  сек.;  
д)  $\approx 19$  сек.; е)  $\approx 16$  сек.; ж)  $\approx 19$  сек.  
19. а)  $\approx 35^\circ$ ; б)  $\approx 50^\circ$ ; в)  $\approx 45^\circ$ ; г)  $\approx 40^\circ$ ; д)  $\approx 50^\circ$ .  
20. а)  $\approx 15$  сек.;  $\approx 30^\circ$ ; б)  $\approx 39$  сек.;  $\approx 60^\circ$ ; в)  $\approx 26$  сек.;  $\approx 50^\circ$ ;  
г)  $\approx 36$  сек.;  $\approx 30^\circ$ ; д)  $\approx 36$  сек.;  $\approx 50^\circ$ .  
21.  $\approx 8$  сек.; 3 м/сек;  $10^\circ$ .  
22. 1350 м;  $\approx 33$  сек.  
23. а)  $\approx 25^\circ$ ; б) 23 сек.; в)  $\approx 18$  сек.; г)  $\approx 30^\circ$ .  
24. а)  $A \approx 1480$  м;  $\approx 35$  сек.;  $\approx 55^\circ$ ; б)  $A \approx 450$  м; 10 сек.;  $\approx 35^\circ$ .

25. а)  $219 \times 123$  м; б)  $331 \times 230$  м; в)  $425 \times 328$  м; г)  $296 \times 230$  м.  
26. а)  $243 \times 164$  м; б)  $920 \times 870$  м.  
27. а)  $134 \times 33$  м; б) 64 м; в)  $270 \times 179$  м.  
28. а) На 56 м; б) На 250 м; в) На 555 м.  
29. 100%.  
30.  $\approx 64\%$ .  
31.  $\approx 67\%$ .  
32. ЗИПУ  $\approx 27^\circ$ ; 15 сек.;  $\approx 50\%$ .  
33. ЗИПУ  $\approx 200^\circ$ ;  $\approx 20$  сек.;  $\approx 45^\circ$ ; 100%.

Так как для случая управления квадратным куполом нет таблицы величин эллипса рассеивания, то вывод о возможности приземления всех парашютистов в эллипсе можно сделать следующим рассуждением: для данных условий — без управления куполом  $8B_0 = 480$  м (см. таблицу 6).

Если же парашютисты будут управлять куполами, то каждый из них сможет уточнить предварительный расчет на величину, равную

$$\frac{800 - 50}{5,3} (2 + 1) \approx 420 \text{ м}$$

(горизонтальную скорость 2 м/сек создает главный киль и 1 м/сек — парашютист натяжением передних лямок).

Для приземления всех парашютистов достаточно в данных условиях иметь возможность исправлять предварительный расчет всего на

$$\frac{480}{2} = 240 \text{ м.}$$

34. 1100 м;  $\approx 18$  сек.;  $\approx 25^\circ$ ; 100%.

#### К главе V

2. 214 кг.  
3.  $\approx 220$  кг.  
4.  $K_1 \approx 26,5$ ;  $K_2 \approx 8,2$ ;  $K_3 \approx 7,5$ .  
5.  $K_1 \approx 28$ ;  $K_2 \approx 10,4$ ;  $K_3 \approx 8,2$ .  
6.  $\approx 435$  кг.  
8. На 34 кг.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Стасевич. Основы теории и практики прыжка с парашютом, Воениздат, 1946 г.
2. П. Сторчиенко. Прыжки с парашютом на точность приземления. Журнал «Крылья Родины» № 7 и 8, 1953 г.
3. П. Сторчиенко. Затяжные прыжки с парашютом. Приложение к журналу «Крылья Родины», 1951 г.
4. Г. Залуцкий. Изобретатель авиационного парашюта Г. Е. Котельников, Воениздат, 1953 г.
5. А. Богданов-Черрин. Механика в авиационной технике. Оборонгиз, 1952 г.
6. П. Знаменский и др. Сборник вопросов и задач по физике, Учпедгиз, 1953 г.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   | Стр. |
|---|------|
| Глава I. Некоторые сведения из теоретической механики . . . . . | 3    |
| Глава II. Движение парашютиста в воздухе . . . . .              | 32   |
| Глава III. Управление куполом парашюта . . . . .                | 51   |
| Глава IV. Расчет прыжка . . . . .                               | 93   |
| Глава V. Расчет парашюта на прочность . . . . .                 | 130  |
| Ответы на задачи . . . . .                                      | 138  |
| Использованная литература . . . . .                             | 142  |