

## ГЛАВА IV

### ДИНАМИКА АЭРОСТАТА

#### 1. Стоянка аэростата в воздухе

Самый простой, но сравнительно редко наблюдаемый в эксплуатации случай, это стоянка аэростата в штиль: ветер не набегаёт ни на аэростат, ни на трос. Аэростат

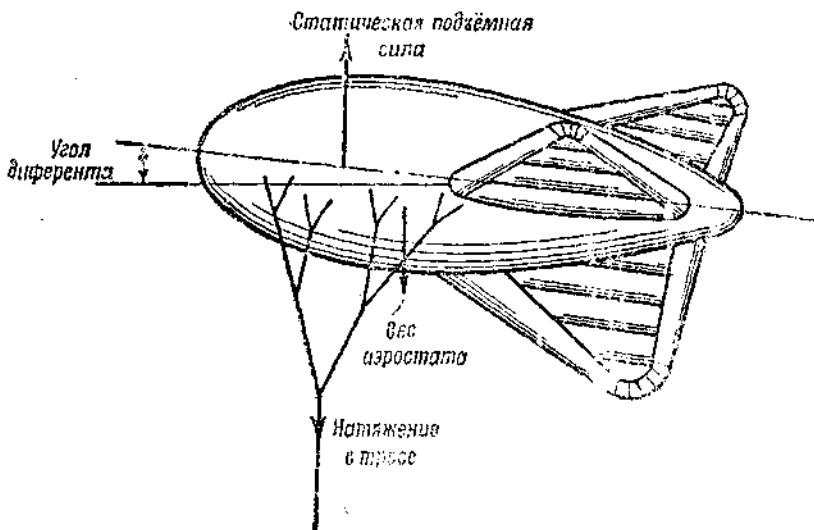


Рис. 41. Силы, действующие на аэростат в безветрие

в воздухе устанавливается под тем углом дифферента, который ему был задан до подъёма, а трос располагается вертикально. На аэростат действуют две силы: статическая подъёмная сила, приложенная в центре объёма корпуса, и сила веса аэростата (без веса троса), приложенная в центре тяжести. Натяжение в тросе у точки подвески равняется свободной подъёмной силе (рис. 41), и если аэростат сдан на полную высоту, т. е. на стати-

ческий потолок, то в тросе у лебедки никакого натяжения не обнаружится.

Более типичным случаем является стоянка аэростата во время ветра. В зависимости от скорости ветра изменяются углы атаки аэростата и аэродинамические силы, приложенные к аэростату. Аэродинамические силы изменяются по двум причинам: вследствие изменения скорости ветра и в результате изменения углов атаки.

Статические силы независят от скорости ветра, и соотношение между ними и аэродинамическими силами будет не одинаково при различных скоростях ветра.

При малых скоростях ветра статические силы превосходят аэродинамические, но уже при ветрах больше 10 м/сек аэродинамические силы сравниваются со статическими, а при ветрах порядка 20 м/сек они превосходят статические в несколько раз.

На рис. 28 показаны силы, действующие на аэростат при стоянке с углом атаки в ровный ветер. Статические силы (вес и статическая подъемная сила) не зависят от высоты подъема и типа аэростата, если нет перегрева, переохлаждения или намокания оболочки, и равны тому весу и той подъемной силе, какие были у аэростата на земле в начале подъема.

Аэродинамические силы в большой степени зависят от высоты подъема и типа аэростата. Вследствие уменьшения плотности воздуха с высотой аэродинамические силы при одной и той же скорости ветра будут меньше на больших высотах.

Увеличение поверхности аэростата приводит к росту аэродинамических сил. Аэростаты постоянного объема (баллонетные) имеют одну и ту же поверхность на всех высотах, и для них аэродинамические силы будут изменяться в такой же пропорции, в какой изменяется плотность воздуха с высотой.

У аэростатов переменного объема — со стягивающей системой и комбинированных — поверхность корпуса на разных высотах различная, и аэродинамические силы при подъеме будут возрастать вследствие увеличения поверхности и уменьшаться вследствие падения плотности с высотой. Поэтому разница между аэродинамическими силами у земли и на высотах сглаживается.

Как уже было указано (стр. 59), расчетным является такое распределение скоростей ветра по высотам, при котором скоростное давление (половина произведения

**плотности воздуха** на квадрат скорости) остается постоянным по высоте. На аэростат постоянного объема при таком распределении скоростей по высотам будут действовать одни и те же аэродинамические силы на всех высотах, между тем как силы, действующие на аэростат переменного объема, будут не одинаковы: у земли силы будут меньшими, чем на высотах. Из двух аэростатов — одного с постоянным и другого с переменным объемом, имеющих одинаковые объемы на статическом потолке, второй аэростат будет испытывать меньшие нагрузки при одинаковых скоростях ветра у земли, вследствие уменьшения его поверхности у земли по сравнению с поверхностью на потолке. В этом заключается одно из преимуществ аэростатов переменного объема.

В воздухе аэростат может подвергаться действию осадков (дождя или снега), солнца, местных особенностей атмосферы (попадание в зону повышенных температур воздуха и пр.). Все эти обстоятельства отражаются на поведении аэростата в воздухе.

Намокание оболочки приводит к утяжелению аэростата и к некоторому снижению его. Вследствие того что **центр** тяжести оболочки располагается позади **центра** объема, равномерное намокание оболочки будет причиной увеличения угла атаки, а следовательно, и увеличения аэродинамических сил. Эти явления будут значительными при малых скоростях и незначительными при больших скоростях ветра. Следовательно, при больших скоростях ветра утяжеление оболочки вследствие намокания не представляет опасности.

Попадание аэростата в снегопад также не вызовет заметного изменения сил, приложенных к аэростату, так как при больших скоростях ветра снег будет сдуваться, а при малых скоростях ветра изменение угла атаки вследствие оседания снега на оболочке и оперении лишь немного увеличит аэродинамические силы, имеющие малые величины.

Обледенение троса не вызовет увеличения натяжения в точке подвески троса, но распределение натяжения по тросу изменится: между натяжениями в точке подвески и у лебедки получится разница большая, чем у троса, свободного ото льда, при сохранении прочих условий (**высоты**, угла атаки и др.). Эта разница получается в результате утяжеления троса — увеличения веса погонного метра троса. Точно учесть величину утяжеления

**затруднительно**, но во всяком случае приращение веса будет значительно меньше веса троса.

Практически, вследствие увеличения аэродинамических сил, приложенных к тросу, которое происходит при обледенении троса и **вызванном** этим увеличении его диаметра, разница между натяжениями в точке **подвески** троса и у лебедки может получиться даже меньше, чем в случае, когда трос не обледеневаает. Это наблюдается во всех случаях, когда величина скорости ветра **неизменна** по высоте. Если же скорости возрастают или уменьшаются по высоте, то разность между натяжениями в верхней точке и у лебедки будет зависеть от **типа аэростата**, высоты его подъема и характера балансировки аэростата.

При интенсивной солнечной радиации и слабо нагретом воздухе газ в аэростате может значительно перегреваться, вследствие чего возрастет статическая подъемная сила и уменьшится угол атаки аэростата. Наибольшие изменения угла атаки или угла дифферента аэростата будут при малых ветрах или в штиль, и незаметные изменения в углах атаки и аэродинамических силах произойдут при сильных ветрах.

Состояние атмосферы должно быть известно до подъема аэростата, так как могут быть такие атмосферные условия, при которых производить подъем не следует. В частности, подъем нежелателен в том случае, когда в воздухе имеются слои с повышенной температурой относительно соседних слоев, перемещающиеся под большим углом к направлению движения соседних слоев (рис. 42). При **значительной** высоте этого слоя над уровнем земли аэростат застрянет в нем вследствие потери значительной доли подъемной силы. Опасность здесь заключается **в том**, что аэростат, попадая в такие слои воздуха, может очутиться в положении, когда угол атаки его будет близок к  $90^\circ$  и он начнет перемещаться не носом, а боком; продольная ось аэростата будет сноситься, оставаясь перпендикулярной к направлению потока. Аэродинамические силы при таком движении велики и превосходят силы, действующие при нормальной стоянке аэростата, в 8—10 раз. Скорость **10 м/се** и даже меньше может стать в **этом** случае опасной для аэростата.

Равнодействующую аэродинамических сил можно грубо определить, если известно, на какую высоту сдан аэростат. Для этого нужно отнять от натяжения в тросе

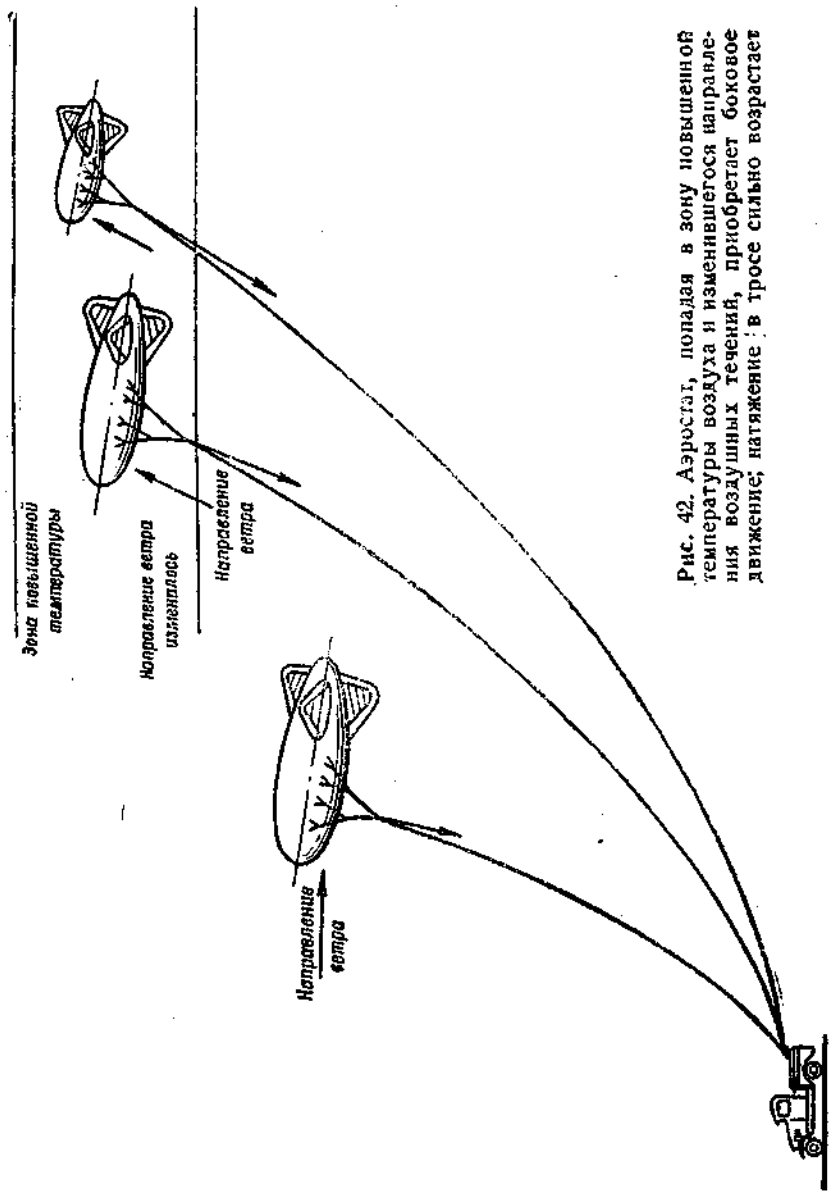


Рис. 42. Аэростат, попадая в зону повышенной температуры воздуха и изменяющегося направления воздушных течений, приобретает боковое движение; натяжение в тросе сильно возрастает

у лебедки разность двух величин — свободной подъемной силы и веса троса, имеющего длину, равную высоте аэростата. Записать это можно так:

$$R = T_n - (F - gH),$$

где  $R$  — равнодействующая аэродинамических сил в кг;

$T_n$  — натяжение у лебедки в кг;

$H$  — высота аэростата в м;

$F$  — свободная подъемная сила в кг;

$g$  — вес погонного метра троса в кг/м.

Эта формула вытекает из двух формул, которые мы уже приводили (стр. 41 и 44).

Натяжение в верхней точке троса (у подвески):

$$T = C_R \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \cdot U^{2a} + F,$$

или

$$T = R + F.$$

Натяжение у лебедки:

$$T_n = T - gH.$$

Из последнего равенства получаем:

$$T = T_n + gH,$$

но

$$T = R + F,$$

следовательно,

$$T_n + gH = R + F \text{ и } R = T_n + gH - F.$$

Когда аэростат сдан на статический потолок, то равнодействующая аэродинамических сил равняется натяжению в тросе у лебедки:

$$R = T_n.$$

Можно также определить величину скорости ветра на уровне аэростата. Для этой цели надо воспользоваться приближенной эмпирической формулой:

$$v = \frac{22,2}{L \cdot \sqrt{\Delta}} \sqrt{T_n},$$

где  $v$  — скорость ветра в м/сек;

$L$  — длина аэростата в м;

$\Delta$  — известное нам отношение плотностей воздуха, взятое из таблицы стандартной атмосферы.

## 2. Боковой снос

У недостаточно устойчивых аэростатов стоянка аэростата в воздухе имеет некоторые особенности. Нормально аэростат должен располагаться строго по ветру, направление скорости которого обычно горизонтально.

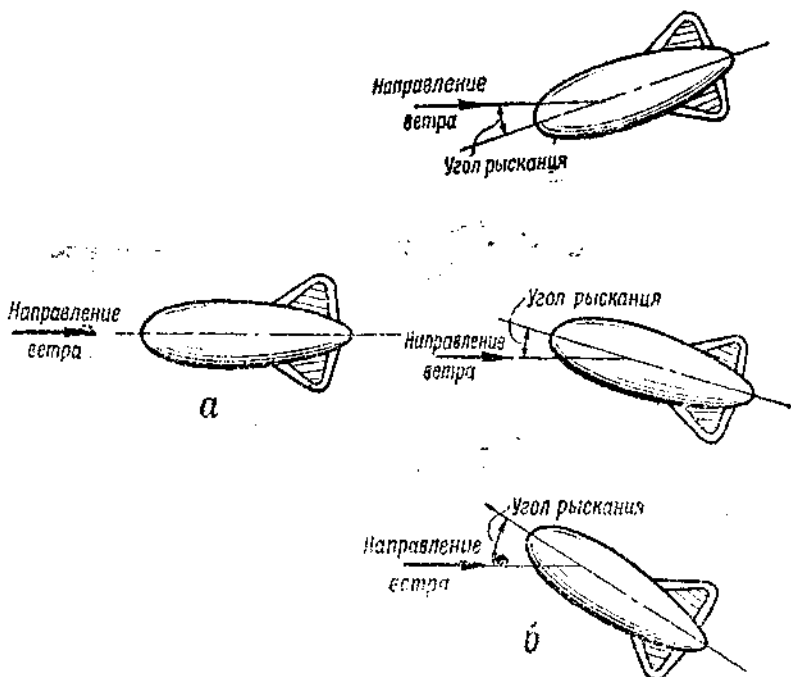


Рис. 43. Положение аэростата в горизонтальной плоскости:  
а — устойчивое положение; б — неустойчивое положение

Недостаточно устойчивый аэростат (рис. 43) может располагаться так, что ось аэростата образует с направлением скорости ветра угол в горизонтальной плоскости. Этот угол, называемый углом **рыскания**, имеет в горизонтальной плоскости такое же значение, как угол атаки в вертикальной. Уравновешивание аэростата при углах рыскания вызывает появление боковой аэродинамической силы, точно так же как угол атаки вызывает появление аэродинамической подъемной силы. Боковая сила стремится сносить аэростат вбок, — как иногда говорят, аэростат «бочит».

Таким образом, в этом случае ко всем другим силам, которые действуют на аэростат при стоянке с углом атаки, добавляется аэродинамическая боковая сила, которая стремится двигать аэростат перпендикулярно направлению ветра. Кроме того, увеличивается сила сопротивления аэростата, потому что он имеет не только угол атаки, но и угол рыскания, и обтекаемость его ухудшается.

Следствием увеличения действующих на аэростат сил явится увеличение натяжений в тросе, увеличение продольного сноса и возникание бокового сноса.

При небольших углах рыскания увеличение натяжения может быть незначительным, но боковой снос заметен, и аэростат, размотав много троса, поднимется невысоко. Поэтому даже малые углы рыскания недопустимы — аэростат должен строго устанавливаться по ветру.

Причины возникновения бокового сноса можно разделить на две группы: принципиальные (конструктивные) и производственные. К первым относятся: недостаточная устойчивость в горизонтальной плоскости, зависящая от корпуса, и недостаточная устойчивость в той же плоскости, зависящая от оперения.

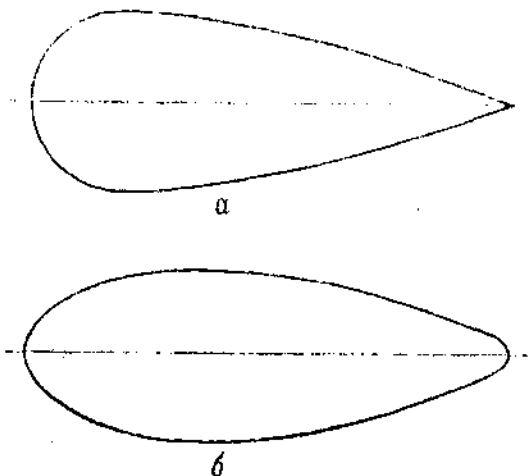
Неудачно выбранная форма корпуса (с чрезмерно удаленным к корме центром объема — рис. 44, б) передвигает ось вращения в корму, в результате аэродинамические опрокидывающие моменты корпуса возрастают, а стабилизирующие моменты оперения уменьшаются. Значительное удаление оси вращения к корме приводит к настолько большому уменьшению стабилизирующего момента, что равновесие становится невозможным при нулевом угле рыскания; аэростат поворачивается и устанавливается под углом к потоку. Смещая ось вращения к носу, можно добиться, что аэростат, имевший боковой снос, будет устойчивым при нулевом угле рыскания.

Положение оси вращения определяется взаимным расположением центра тяжести аэростата и точки подвески троса. Ось вращения проходила бы через центр тяжести аэростата, если бы не было троса, и наоборот, ось вращения проходила бы через точку подвески троса, если бы он был жестким. У реального аэростата ось вращения находится между вертикалью, проходящей через центр тяжести, и вертикалью, проходящей через точку подвески троса. Чем ближе



точка подвески к носу, тем ближе к носу располагается ось вращения и тем меньше вероятность бокового сноса аэростата. Большое удаление оси вращения от носа способствует возниканию бокового сноса.

Перемещением точки подвески троса к носу можно ликвидировать возможность бокового сноса. Однако не все средства годятся для перемещения точки подвески. Например, нецелесообразно двигать точку подвески в нос уменьшением углов атаки. Простейшим средством перемещения является загрузка кормовой части балластом.



**Рис. 44.** Форма корпуса аэростата является важным фактором устойчивости:  
а — удачно выбранная форма; б — неудачно выбранная форма

Те аэростаты, которые, даже в случае загрузки кормовой части балластом, имеют при некоторых скоростях боковой снос, надежно эксплуатироваться не могут.

Малая или чрезмерно большая площадь оперения создают малые стабилизирующие моменты, и аэростат не уравнивается при нулевом угле рыскания (рис. 45). Такой же результат получится при использовании неэффективного оперения или при выходе из работы какого-либо стабилизатора.

К производственным дефектам можно отнести несимметричное расположение боковых стабилизаторов относительно вертикальной плоскости (рис. 46) или

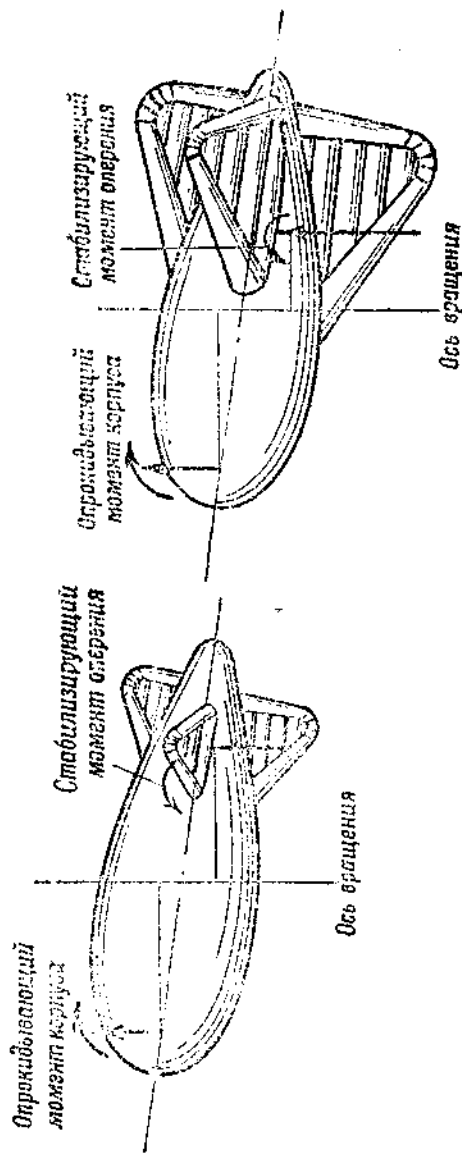


Рис. 45. Поставка чрезмерно малой или чрезмерно большой площади оперения может быть причиной неустойчивой стойки взрослого

неравномерную работу такелажа правого и левого бортов.

При симметричном расположении боковых стабилизаторов на них действуют одинаковой величины боковые силы, направленные в противоположные стороны и, следовательно, уравнивающиеся. Если же боковые стабилизаторы установлены несимметрично, то на один стабилизатор будет действовать большая сила, чем на второй, вследствие чего аэростат будет относиться бок — перпендикулярно своей продольной оси. Момент

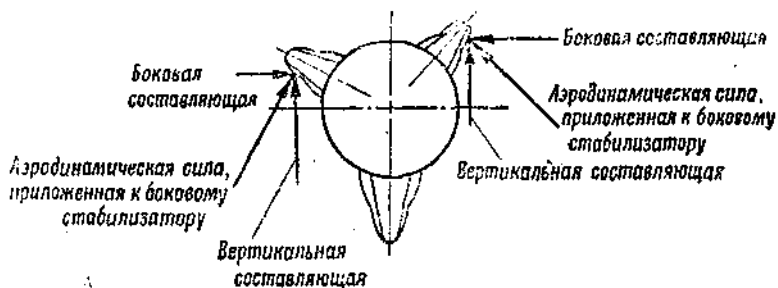


Рис. 146. Несимметричное расположение боковых стабилизаторов вызывает „боковое“

этой силы при малых скоростях ветра может оказаться недостаточным для того, чтобы аэростат начал „рыскать“, но при больших скоростях ветра это вполне возможно.

Элементы такелажа с неравными натяжениями на правом и левом бортах могут привести к повороту аэростата вокруг продольной оси. Результатом крена явится несимметричное положение боковых стабилизаторов относительно потока и в конечном итоге боковой снос.

Производственные недостатки могут быть своевременно обнаружены и устранены. Обнаружить их можно либо непосредственно, либо по тому признаку, что боковой снос в этих случаях односторонний, в отличие от двустороннего бокового сноса, наблюдающегося в случаях принципиальных недостатков. Однако существование небольшой несимметрии аэростата приводит и в этом случае к преимущественному отклонению его в одну сторону.

### 3. Подъем аэростата

Сдавание аэростата в воздух (рис. 47) может протекать при различных условиях: в штиль и при сильных ветрах, с торможением или искусственным задерживанием подъема и без торможения — свободно.

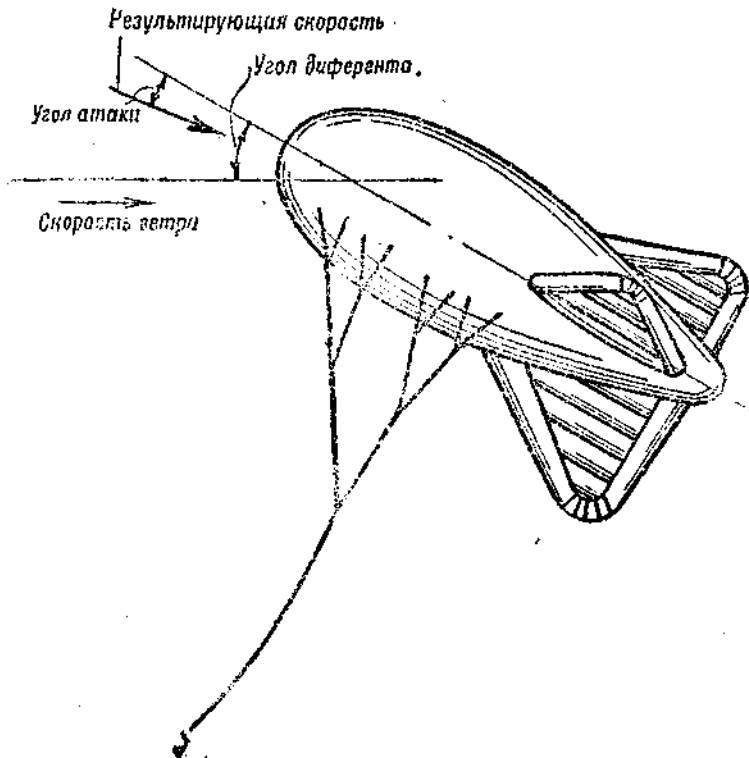


Рис. 47. Подъем аэростата

Подъем в штиль обычно можно производить без торможения, если какие-либо особые причины не требуют замедленного подъема и если клапаны позволяют аэростату подниматься с большой скоростью. Однако при большой свободной подъемной силе сдавать аэростат без торможения не рекомендуется, так как иначе могут получаться большие углы дифферента и аэростат может уравниваться на высотах при этих углах, что представляет опасность в случае появления ветра.

Подъем аэростата в штиль совершается с замедленной скоростью. Свободная подъемная сила, тянущая аэростат вверх, неизменна по высоте, между тем как тормозящая движение сила веса троса растет по мере подъема, вследствие чего скорость подъема непрерывно уменьшается.

Движение аэростата вызывает появление аэродинамической силы, вертикальная составляющая которой направлена сверху вниз. Следовательно, и эта сила тормозит движение аэростата вверх.

Эта же аэродинамическая сила, приложенная в кормовой части аэростата (у оперения), создает момент, поворачивающий аэростат носом кверху и увеличивающий этим углы диферента. Углы атаки аэростата имеют вначале отрицательные значения, а затем при подъеме они стремятся к нулевой или малой положительной величине.

Как только аэростат прекращает подъем, он может „застыть“ при том угле диферента, какой он имел перед остановкой. Это может произойти в случае, если появляется ветер. „Застывание“ аэростата при больших углах диферента может вызвать большие нагрузки при ветре, обладающем большой скоростью.

Первые десятки или сотню метров аэростат движется, набирая скорость, а весь остальной путь он совершает с замедлением до самой остановки (рис. 48), которая произойдет несколько выше статического потолка. Это превышение объясняется действием сил инерции. Окончательно аэростат устанавливается на статическом потолке. Практически, вследствие трения троса о барабан, аэростат остановится, не достигнув статического потолка, если подъем происходит в штиль. При подъеме во время ветра, когда в тросе имеется некоторое натяжение, аэростат поднимается выше статического или динамического потолка и затем несколько снижается.

Наибольшая скорость подъема зависит от отношения  $\frac{F}{V^2}$ ; чем больше это отношение, тем выше скорость подъема. Аэростаты малого объема поднимаются медленнее, чем аэростаты большого объема, так как указанное отношение уменьшается с уменьшением объема,

Подъем при ветре целесообразно производить с горизонтальным; при этом с барабана будет сматываться одинаковое количество метров троса в определенное время, и подъем будет равномерным.

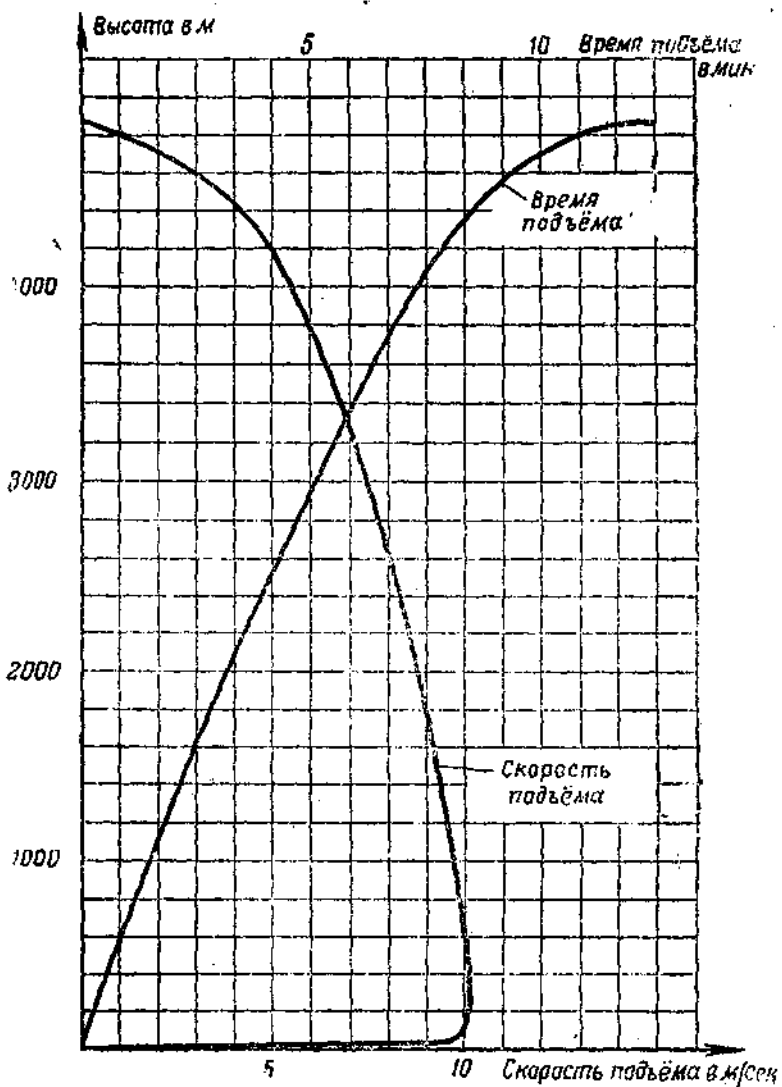


Рис. 48. Время и скорость подъема аэростата по высотам в безветрие

Углы атаки при подъеме будут меньше, чем при стоянке, а углы дифферента, наоборот, становятся больше.

Необходимо разобраться в сущности этих явлений. Аэростат не может иметь ни больших положительных, ни больших отрицательных углов атаки. В первом случае аэродинамическая подъемная сила, направленная снизу вверх, ускорила бы движение аэростата; увеличение же вертикальной скорости при постоянной горизонтальной равносильно уменьшению угла атаки (см. рис. 47). При значительном уменьшении угол атаки может стать отрицательным, аэродинамическая подъемная сила изменит направление и будет тормозить движение аэростата; вследствие уменьшения вертикальной скорости уменьшится отрицательное значение угла атаки. Так как аэростат поднимается с равномерно убывающей скоростью, то углы атаки имеют практически небольшие, обычно положительные, значения, и аэродинамическая сила при подъеме существенного значения не приобретает. Если бы аэродинамическая сила имела существенное значение, то неизбежно было бы скачкообразное движение аэростата, чего в действительности не замечается и не может быть.

При подъеме малым углам атаки будут соответствовать большие углы дифферента, вследствие того что результирующая скорость направлена не по горизонту, а имеет вертикальную составляющую, направленную вниз, и при малых углах атаки аэростат задирает нос кверху и опускает корму, т. е. имеет большие углы дифферента.

Увеличение углов дифферента уменьшает момент силы веса и увеличивает плечо силы натяжения в тросе, если моменты брать относительно оси, перпендикулярной направлению скорости, по отношению к которой известен аэродинамический момент. Момент силы веса должен уравновесить моменты силы натяжения в тросе и аэродинамический момент, так как моментом сил, зависящим от ускорения, можно пренебречь. Поскольку момент силы веса уменьшился, уменьшится также и сумма двух других моментов. Но аэродинамический момент имеет малое значение, и следовательно, должен уменьшиться момент силы натяжения в тросе, а это может произойти только за счет уменьшения самой силы, так как плечо этой силы не уменьшается, а, наоборот, увеличивается. В действительности при подъеме всегда происходит весьма интенсивное уменьшение натяжения. Несмотря

на большой угол дифферента (который неправильно принимается иногда за угол атаки), натяжения малы и это вполне согласуется с физической картиной подъема.

Если рассматривать равновесие сил, то вследствие малой величины силы натяжения в тросе должны быть малы и аэродинамические силы, что возможно только при малых углах атаки.

Существует еще одна причина уменьшения силы натяжения в тросе — это уменьшение относительной скорости потока, обтекающего аэростат при подъеме. Дело в том, что, помимо вертикального перемещения, аэростат движется еще по ветру. Такое движение, когда аэростат как бы убегает от ветра, а ветер стремится его догнать, равносильно набеганию на неподвижный аэростат ветра со скоростью, равной разности между истинной скоростью ветра и скоростью перемещения аэростата по ветру. Чем больше снос аэростата, тем больше эта разность и тем меньшей скорости поток набегает на аэростат. Так как аэродинамические силы зависят от скорости потока, то они в данном случае, разумеется, уменьшаются.

Насколько существенно изменение аэродинамических сил при подъеме вследствие уменьшения скорости потока, обтекающего аэростат, можно судить по следующему примеру.

Если при истинной скорости ветра 20 м/сек аэростат сносится со скоростью 6 м/сек, то аэродинамические силы уменьшаются в два раза по сравнению с теми силами, которые наблюдались бы во время стоянки аэростата при той же скорости ветра.

На рис. 49 и 50 представлены значения углов дифферента и углов атаки аэростата при различных скоростях ветра и различных скоростях подъема.

Сдвиг аэростата без торможения отличается от заторможенного подъема только количественно, т. е. величинами скоростей подъема, углами атаки и дифферента. Углы дифферента при таком подъеме получаются весьма значительными, а углы атаки малыми.

Скорость подъема без торможения во время сильного ветра может достигать значительной величины. Подъемы такого рода опасны, так как во время их могут возникать чрезмерные сверхдавления в оболочке. Предположим, что воздушные и газовые клапаны будут в состоянии регулировать сверхдавление, — тогда представляется



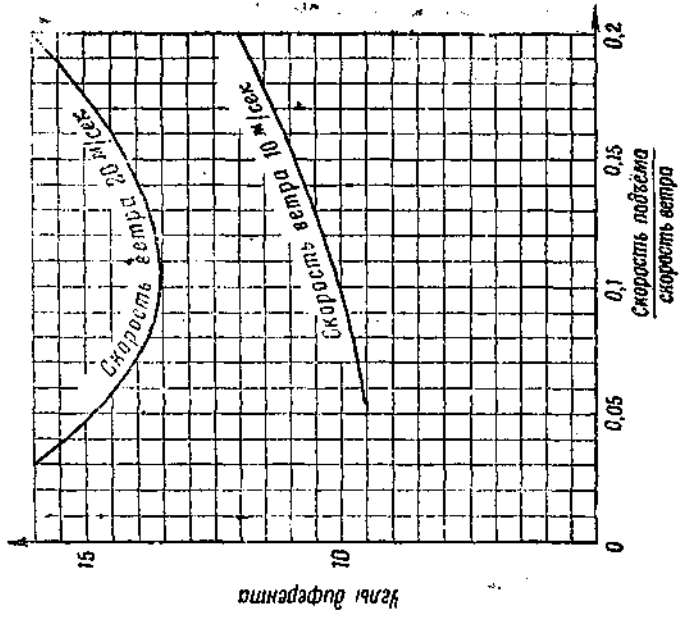


Рис. 50. Углы диферента аэростата при различных скоростях подъема и различных скоростях ветра

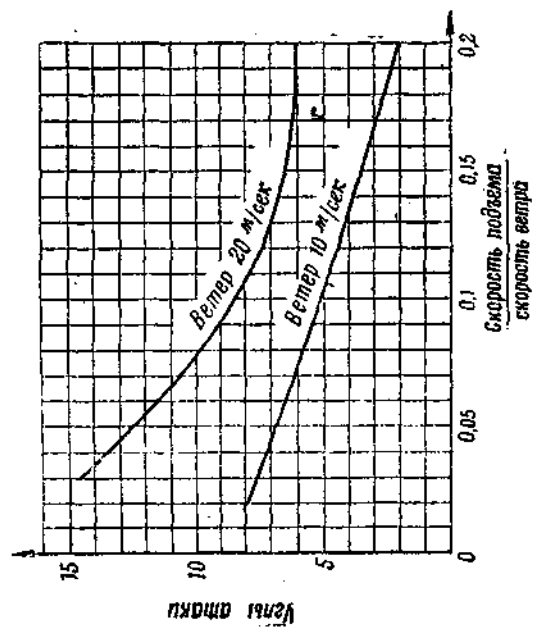


Рис. 49. Углы атаки аэростата при различных скоростях подъема и различных скоростях ветра

**ерациональной** со многих точек зрения (эксплуатационной, экономической, технической) потеря *газа*, уходящего через клапаны в воздух. Это относится к аэростату постоянного объема.

**Подъем** аэростата переменного объема не лимитируется клапанами, однако значительные углы диферента могут явиться причиной повышения давления в носовой части и уменьшения давления в кормовой; результатом будет неравномерное растяжение амортизационных шнуров и искажение формы аэростата. Кроме того, **уменьшение** сверхдавления в кормовой части корпуса опасно вследствие возможности провисания кормы.

На основании всего сказанного можно сделать заключение о нецелесообразности и опасности подъема аэростата без торможения во время сильных или даже средних ветров.

Вследствие малых величин углов атаки аэростата мало его сопротивление и, следовательно, мал и его снос. Поэтому при подъеме для достижения заданной высоты требуется меньшая длина троса, чем при **стоянке** на этой высоте.

После остановки аэростат продолжает сносить, и потолок его уменьшается. Когда аэростат „выбрал” трос, то в зависимости от угла атаки троса у **лебедки** его можно сдавать **выше** или остановиться на достигнутой высоте. При быстром подъеме, слабых ветрах и небольшой свободной подъемной силе сдавать аэростат следует в несколько приемов, так как может оказаться, что скорость сматывания троса с барабана лебедки вследствие отсутствия натяжения в тросе будет равна нулю. Только после остановки аэростат постепенно „подберет” трос, установится с достаточно большим углом атаки, **натяжение** в тросе возрастет и подъем можно будет продолжать до следующей остановки.

Величина сноса при подъеме в ветер будет приближаться к той, которая была бы при стоянке, если подъем совершается с **значительным** торможением.

#### 4. Выбор аэростата

Выбор аэростата — одна из ответственных операций, при выполнении которой наиболее возможны случаи аварий. Аварии могут произойти при выборе не только во время сильного ветра, но и при средних ветрах.

Рассмотрим вначале выборание аэростата в штиль. До начала выборания аэростат располагается над лебедкой, трос висит вертикально и натяжение в тросе у лебедки отсутствует, если аэростат сдан на статический потолок.

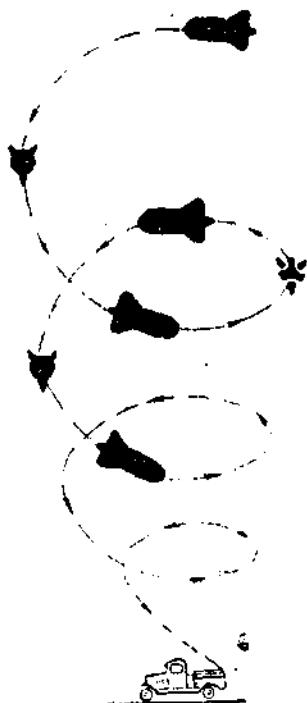


Рис. 51. Снижение аэростата в штиль или при слабом ветре

В первый момент выборания аэростат движется вертикально вниз с углом атаки немного большим  $90^\circ$ , так как в воздухе до выборания он имел положительный угол атаки. На аэростат, находящийся в движении, начинают действовать аэродинамические силы, направленные одна вертикально, а другая горизонтально. Первая сила вызывает рост натяжения, а вторая, направленная от кормы к носу, заставляет аэростат перемещаться носом вперед. Трос становится все более наклонным и появляющаяся горизонтальная составляющая силы натяжения, возрастающая по мере движения аэростата вперед, задерживает поступательное движение аэростата. Спуск становится наклонным, и возникает приложенная к аэростату боковая сила, отклоняющая аэростат вбок, и момент, поворачивающий его. Таким образом, аэростат движется от лебедки вперед, в сторону, поворачиваясь при движении.

Поступательное движение должно продолжаться до тех пор, пока величина равнодействующей всех сил, приложенных к аэростату, не совпадет с величиной натяжения в тросе, а ее направление не будет прямо противоположным направлению силы натяжения. Но аэростат обладает инерцией при движении и перейдет равновесное положение. Сила натяжения в тросе будет продолжать расти, и аэростат начнет обратное движение, продолжая боковое движение и поворачиваясь. У наблюдателя, находящегося у лебедки, создается впечатление спирального спуска: трос во время спуска описывает

конусообразные фигуры, имеющие неподвижную вершину у лебедки (рис. 51).

Появление „**выталкивающей**“ силы, направленной по продольной оси аэростата от кормы к носу (рис. 52), объясняется неравномерным обтеканием кормовой и **носовой** частей при поперечном обтекании аэростата воздушным потоком: в носовой части наблюдается большое разрежение вследствие резкого изменения кривизны ее, а в более пологой кормовой части разрежение значительно **меньше**. В результате неравномерного распределения давления возникает **сила**, направленная вперед от кормы к носу.

Спиральный спуск, подобный описанному, возможен не только в штиль, но и при слабых ветрах.

Спиральный спуск при сильных ветрах затухает вследствие резкого уменьшения углов атаки. Снижение здесь имеет другой характер.

До начала спуска аэростат находился в равновесии, имея вполне определенный угол атаки, который вследствие горизонтального направления скорости совпадал с углом дифферента,

Как только начнется спуск, аэростат опустит нос, — уменьшится его угол дифферента (рис. 53). Уменьшение угла дифферента произойдет потому, что момент тянущей силы, приложенной к тросу и проходящей впереди оси вращения, действует таким **образом**, что продольная ось аэростата стремится установиться по горизонту.

• Момент аэродинамических сил имеет небольшое значение, а момент силы веса хотя и увеличится, но незначительно; поэтому основное значение приобретает момент тянущей силы, который и опускает нос аэростата.

Угол атаки при снижении уже не **совпадает** с углом дифферента, потому что к скорости ветра добавилась некоторая вертикальная скорость и направление результирующей скорости образует с горизонтом угол, который, будучи прибавлен к углу дифферента, даст величину угла атаки. **Таким** образом, спуск аэростата характерен малыми углами дифферента и большими углами атаки; углы атаки при спуске всегда больше углов дифферента (рис. 54).

Причины, заставляющие уменьшаться угол дифферент в начале спуска, уже выяснены. Так же можно показать необходимость увеличения углов атаки.

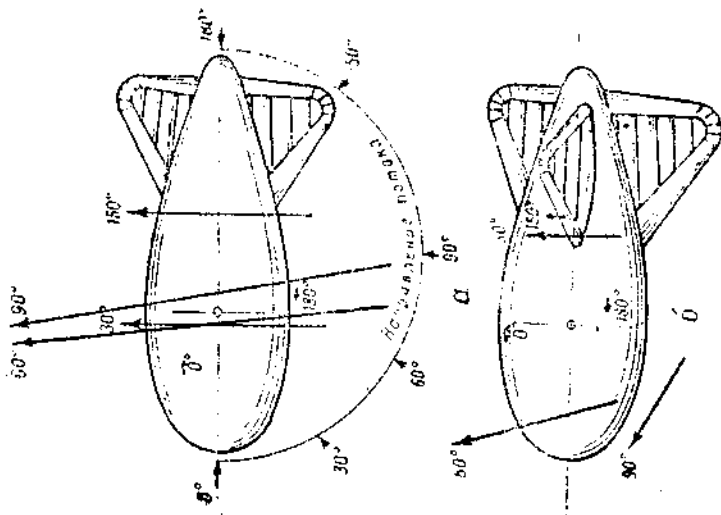
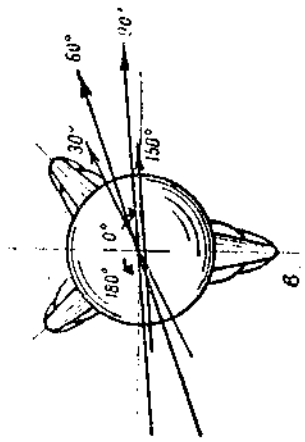
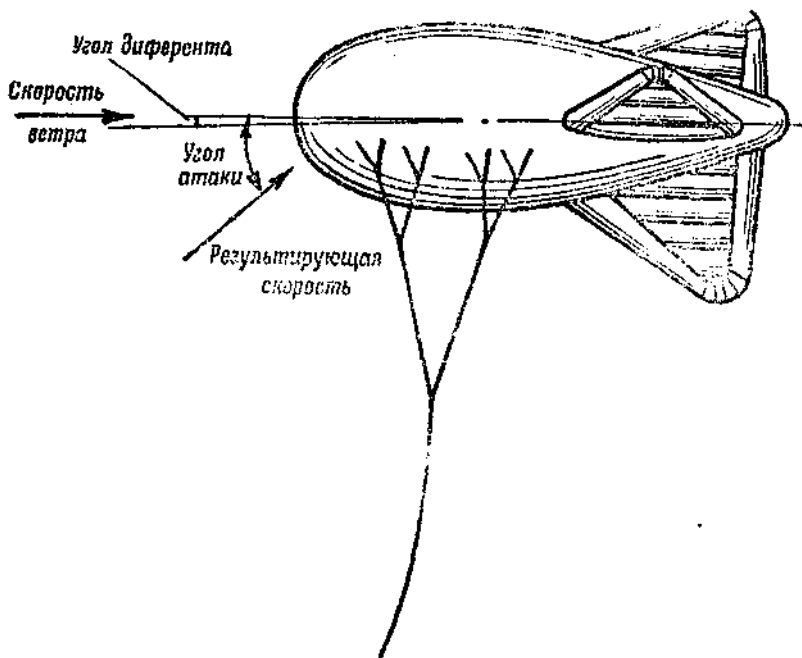


Рис. 52. Аэродинамические силы, действующие на аэроэтал при разном направлении потока:  
 а — в горизонтальной плоскости; б — в вертикальной плоскости; в — в сечении



При установившемся равномерном спуске аэростата все силы и моменты, действующие на аэростат, должны уравниваться. Так как момент силы натяжения увеличился, а также увеличился вследствие опускания носа и уменьшения угла дифферента момент силы веса, то должен увеличиться и аэродинамический момент.



**Рис. 53.** Спуск аэростата при ветре

Но аэродинамический момент может увеличиться только в результате увеличения аэродинамических сил, так как точка приложения равнодействующей аэродинамических сил у аэростата мало зависит от угла атаки.

Увеличение же аэродинамических сил возможно лишь при увеличении угла атаки, если аэростат сохраняет свою форму и движение его равномерно и прямолинейно или происходит с малыми ускорениями.

На рис. 55 показаны траектории движения аэростата при выбирании. В начале выбирания аэростат движется больше вперед, чем вниз, несмотря на то, что тянущая

Сила приложена почти вертикально. Аэростат, спущенный на статический потолок или на полную высоту, при значительных скоростях ветра может в первые секунды выбирания **увеличить** свою высоту вместо того, чтобы снизить ее.

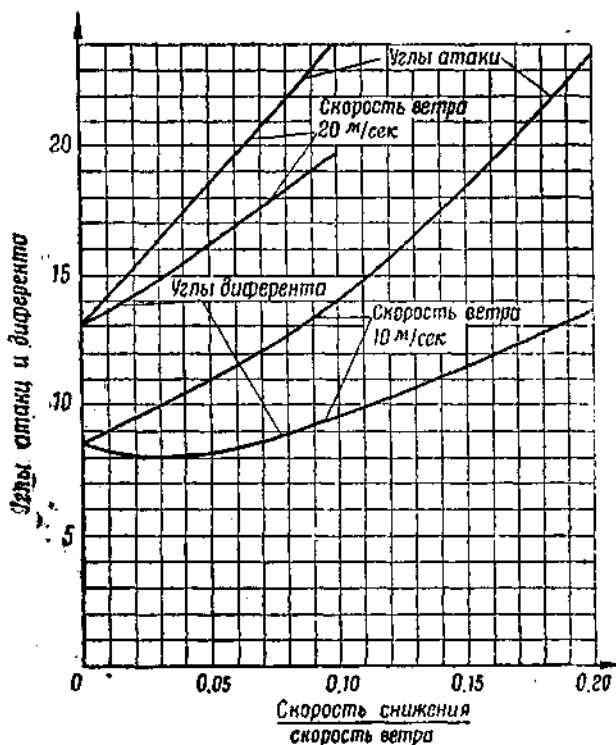


Рис. 54. Углы атаки и углы дифферента аэростата при снижении

Траектория аэростата при снижении зависит от скорости ветра: чем больше скорость ветра, тем больше снос аэростата на одних и тех же высотах. Причина этого явления нам уже известна.

Откладывая по оси ординат значения высот, разделенные на величину статического потолка, а по оси абсцисс — значения сноса, разделенные на максимальный снос при ветре 20 м/сек, изобразим в этих осях траектории движения аэростата при различных скоростях ветра,

Удобство такого представления заключается в том, что всегда легко от одного изображения, представленного на рис. 55, перейти к действительной траектории одиночных аэростатов любых объемов. Для этого

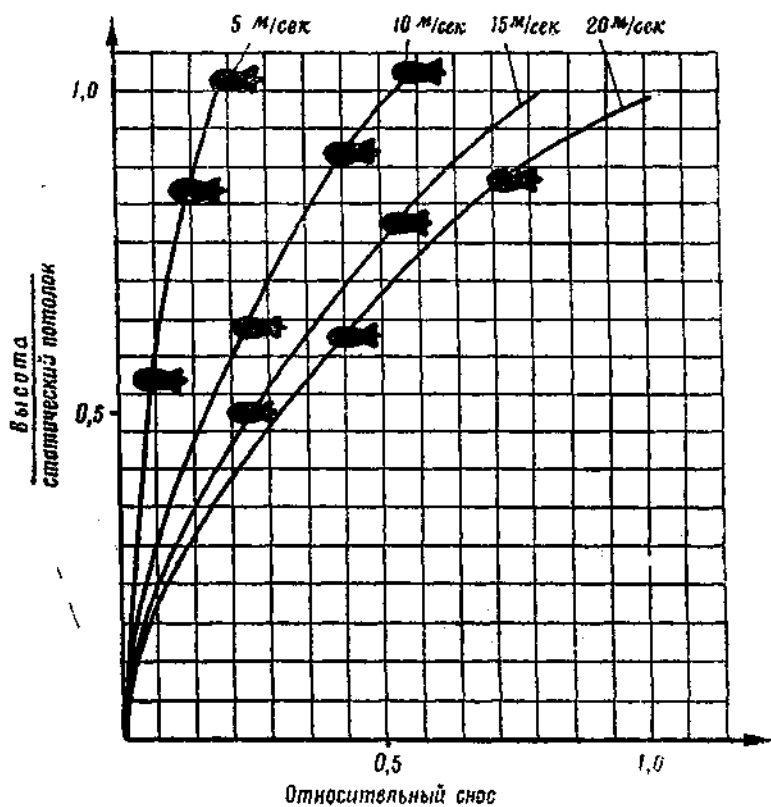


Рис. 55. Траектории движения аэростата при различных скоростях ветра

ординаты нужно умножить на величину статического потолка, а абсциссы умножить на величину наибольшего сноса при скорости ветра 20 м/сек.

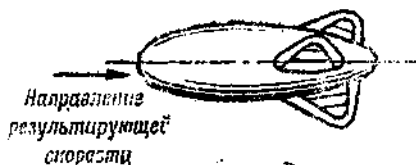
На большем участке траектория почти прямолинейна, поэтому при равномерном наматывании троса на барабан лебедки аэростат на большей части своего пути движется **равномерно** и прямолинейно.



Результирующая скорость имеет величину, большую скорости ветра, и направлена по диагонали параллелограмма, одной стороной которого является отложенная



а



б



в

Рис. 56. Изменение высоты аэростата в зависимости от угла снижения:

а — угол снижения положительный, аэростат снижается; б — угол снижения нулевой, аэростат не меняет высоту; в — угол снижения отрицательный, аэростат поднимается

в масштабе величина скорости ветра, направленная горизонтально, а другой — отложенная в масштабе величина скорости потока, равная скорости снижения аэростата и направленная по касательной к траектории.

Угол между результирующим направлением скорости и горизонтом называется углом снижения (рис. 56). По мере спуска углы снижения аэростата увеличиваются, однако на большом участке пути они изменяются весьма мало. Углы снижения при выборе положения очень малы. Когда угол снижения аэростата равен нулю, аэростат движется горизонтально, не снижаясь.

Натяжение в тросе при выборе увеличивается, как уже указывалось, вследствие увеличения угла атаки и вследствие увеличения скорости потока, обтекающего аэро-

стат. До выбора скорость потока, обтекающего аэростат, была равна скорости ветра; при выборе она равна результирующей скорости.

Как интенсивно увеличивается натяжение в зависимости только от скорости снижения, видно из следующего примера.

Если аэростат снижается со скоростью 2 м/сек при ветре 20 м/сек, то аэродинамические силы возрастают

на  $20\%$ , а натяжение в тросе на  $10-15\%$  на  $50-75$  кг для аэростата объемом  $500\text{ м}^3$ .

Натяжение резко возрастает при увеличении скорости выбирания, поскольку росту скорости выбирания соответствует рост углов атаки. С увеличением скорости ветра необходимо уменьшать скорость выбирания, так как резкость роста натяжения возрастает по мере роста величины скорости ветра, как это видно из рис 57.

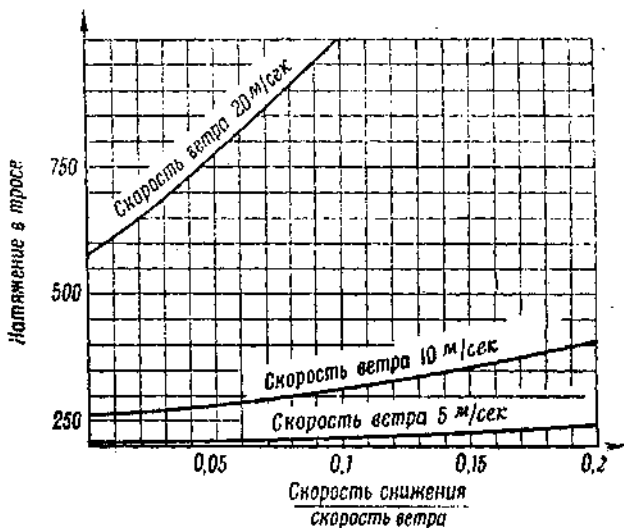


Рис. 57. Зависимость натяжения в тросе от скорости выбирания и скорости ветра для аэростата объемом  $500\text{ м}^3$

Например, при скорости ветра  $20\text{ м/сек}$  скорость выбирания для аэростата объемом  $500\text{ м}^3$  не должна быть выше  $1\text{ м/сек}$ .

Все приведенные рассуждения относятся к плавному, равномерному выбиранию аэростата, требующему от моториста некоторого опыта. Весьма опасно неравномерное, толчкообразное выбирание, когда к тем силам, о которых уже упоминалось, добавляются инерционные и аэродинамические силы, зависящие от ускорения аэростата. Натяжение в тросе может достигать больших значений и, что очень важно, может менять свою величину. Это обстоятельство при больших натяжениях приводит к авариям.

Натяжение в тросе несколько изменяется вследствие изменения углов атаки, и результирующей скорости с высотой. Так как углы атаки при снижении слегка возрастают, а результирующие скорости незначительно уменьшаются, то натяжения на низких высотах больше, чем на больших высотах. Это диктует необходимость некоторого замедления спуска по мере выбора.

В практике эксплуатации все же бывают случаи обрывов аэростатов при выборе, несмотря на принятые меры предосторожности. Обрывы могут происходить по следующим причинам: от порывистого ветра при снижении, падения сверхдавления в оболочке и, наконец, выхода из строя оперения.

Действие порывистого ветра при выборе имеет некоторую аналогию с толчкообразным выбором. Разница заключается в том, что там наблюдалось только ускоренное движение аэростата; здесь же ускоренно движется и **поток**, набегающий на аэростат. Характерны для такого рода снижения скачки натяжений: аэростат как бы испытывает кратковременные резкие **толчки**, передающиеся на трос и ощущаемые как скачки натяжения. Горизонтальные порывы вызывают значительное увеличение максимального значения натяжения, но при осторожном выборе не приводят к обрыву.

Наиболее опасны вертикальные порывы, или порывы, имеющие вертикальную составляющую. Часто выбираемый аэростат не может приобрести скорость в направлении порыва и этим смягчить удар. А при вертикальном, направленном снизу вверх, порыве снижение аэростата усиливает удар, и вероятность обрыва здесь велика. Поэтому, если в какой-либо зоне натяжения при остановке подвержены резким колебаниям, указывающим на порывистость ветра, следует поднять аэростат выше этой зоны или опустить ниже, если порывистость внизу меньше.

Падение сверхдавления в оболочке может произойти в результате порчи системы воздухопитания у баллонного аэростата или выхода из работы амортизационных шнуров у аэростата со стягивающей системой. Аэростат при снижении деформируется, причем наибольшие деформации будут в носовой части.

Выбирать в этом случае следует с минимально возможной скоростью даже при **средних** ветрах.

**Оперение** перестает выполнять свои функции, если по каким-либо причинам (прострелы, разрывы) расход воздуха через поверхность оперения превышает приток воздуха через улавливатель. Вследствие резкой потери эффективности оперения аэростат будет стремиться принять большие углы атаки. Рост углов атаки и неустойчивая стоянка создают колебания натяжений в тросе. В данном случае может оказаться полезным и необходимым быстрое выбиравание аэростата, при котором углы диферента будут уменьшаться.

## 5. Стоянка аэростата во время порывистого ветра

Порывистым ветром (порывом) называется ветер, непостоянный по скорости или направлению. Существует много видов порывов, возникающих по разным причинам и имеющих большую или малую протяженность.

Наибольшая порывистость ветра наблюдается обычно у земли, с высотой же порывистость, как правило, уменьшается. Распределение порывистости по высотам зависит от рельефа местности. В условиях не резко пересеченной местности высота распространения порывов не превышает 500 м, но в отдельных случаях порывистые ветры наблюдаются и на больших высотах. Особенно заметны порывы у земли: аэростат непрерывно бросает из стороны в сторону и сверху вниз.

Сопrotивляемость аэростата порывам ветра зависит от его объема или, точнее, от его массы. Вследствие малых габаритов аэростата можно считать, что он весь сразу попадает под действие порыва.

Порывы могут быть боковые по отношению к аэростату, действующие в горизонтальной плоскости, и вертикальные. Действие их на аэростат и трос различно по причинам, связанным с условиями стоянки аэростата.

Под действием набежавшего горизонтального бокового порыва, обладающего определенной скоростью и ускорением, аэростат перемещается в направлении действия порыва: скорости и ускорения аэростата и порыва совпадают по направлению (рис. 58).

В первый момент поперечному движению аэростата ничто не препятствует, так как до действия порыва аэростат стоял с нулевым углом рыскания и боковая составляющая натяжения в тросе отсутствовала. Вследствие этого аэростат быстро перемещается в направлении

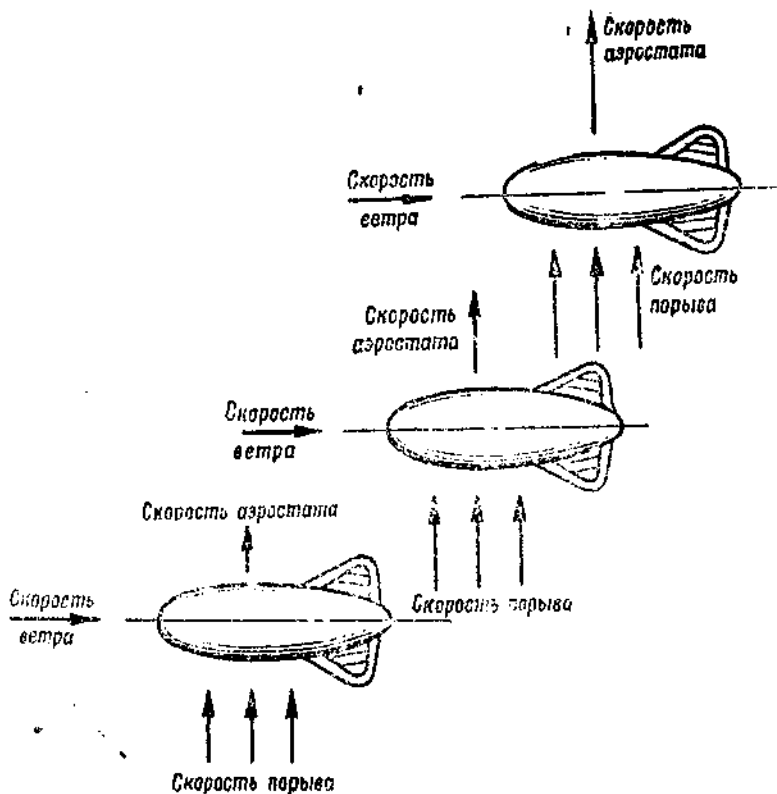


Рис. 58. Боковое движение аэростата при действии горизонтального бокового порыва

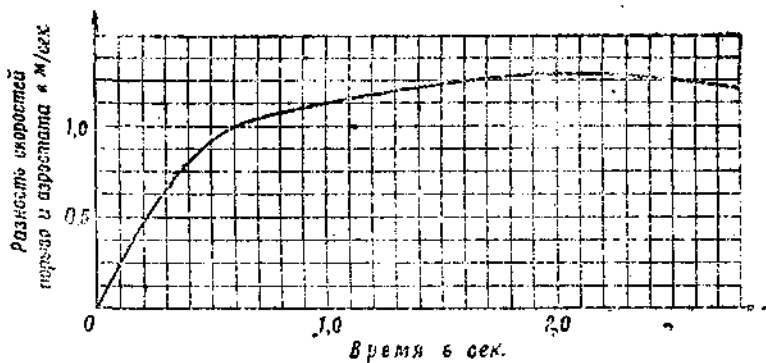


Рис. 59. При поперечном движении разность скоростей порыва и аэростата мала и имеет тенденцию к дальнейшему уменьшению

действия **порыва**, разность скоростей порыва и аэростата уменьшается (рис. 59) и углы **рыскания**, зависящие от разности скоростей порыва и аэростата, будут небольшими.

Если бы скорость порыва была равна скорости **аэростата** и направления их совпадали, то угол рыскания отсутствовал бы вовсе, так как это **равносильно** тому случаю, когда аэростат **совершенно** не обтекается потоком и никакие аэродинамические силы на него не действуют.

Действительная аэродинамическая **боковая** сила, зависящая от величины угла рыскания, не будет значительной, и дополнительное натяжение в тросе поэтому будет невелико.

Все происходит, как описано, в случае бокового движения аэростата без вращения в сторону действия порыва. Боковое смещение аэростата, перпендикулярное **продольной** оси (рис. 60), протекающее одновременно с вращением аэростата вокруг вертикальной оси, представляет с точки зрения нагрузок более тяжелый случай.

Одновременное поступательное и вращательное движение аэростата отличается тем, что каждая точка на корпусе имеет свою, отличающуюся по величине и направлению от всех остальных, результирующую скорость. Поэтому углы рыскания будут не одинаковы для различных точек корпуса.

Рассматривая средний угол рыскания в **центре** тяжести аэростата, можно обнаружить значительную величину этого угла, превосходящую величину угла рыскания при **чистом** боковом движении. Натяжения в тросе возрастают значительно при порывах большой **продолжительности**, но этого не бывает при порывах малой продолжительности, так как значительно возрасти натяжения не **успевают**.

Горизонтальные **порывы** не опасны для устойчивого аэростата, если продолжительность их действия мала.

**Частые** порывы, сменяющие друг друга, вызывают **сильные** колебания аэростата и резкие изменения натяжения в привязном тросе. После прекращения действия порыва аэростат **стремится** вернуться в начальное устойчивое положение. Этот период движения характе-

ризуется падением натяжения в привязном тросе и перемещением аэростата в сторону, противоположную первоначальному смещению. Под действием вновь набравшего порыва аэростат уже не будет в первые

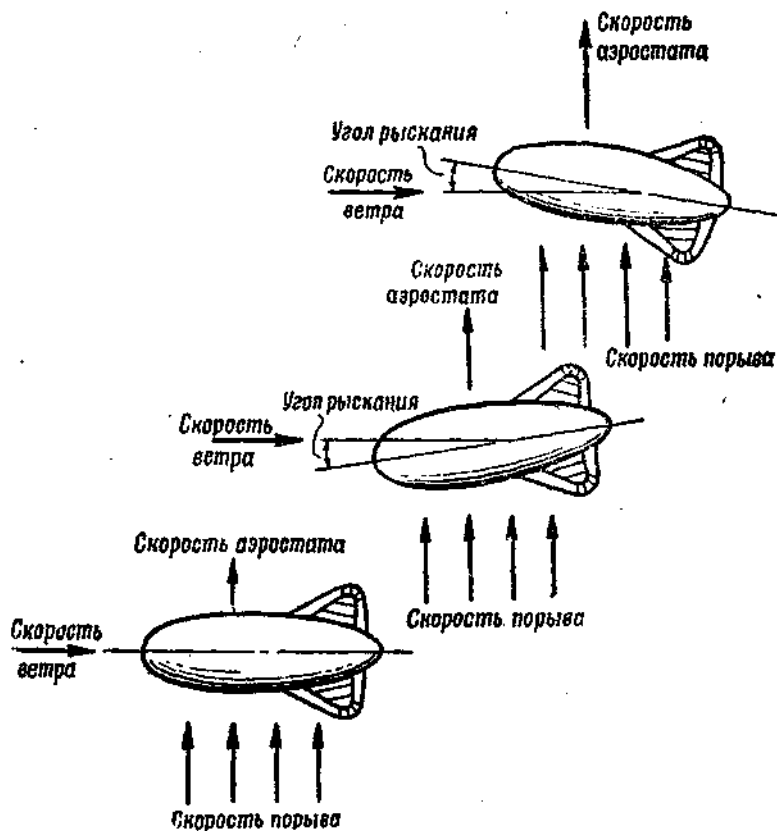


Рис. 60. Боковое движение с вращением аэростата при действии горизонтального бокового порыва

мгновения перемещаться в направлении действия порыва, а по инерции будет стремиться продолжать первоначальное движение в сторону, противоположную направлению действия порыва. Скорости перемещения аэростата и порыва сложатся, так как такое перемещение равно-

сильно обтеканию аэростата потоком со скоростью, равной сумме скоростей аэростата и потока (рис. 61). Углы рыскания резко возрастают, и в связи с их ростом увеличивается натяжение в тросе.

Повторно действующие порывы неумещающей скорости могут вызвать все возрастающие аэродинамические силы, приложенные к аэростату, и все увеличиваю-

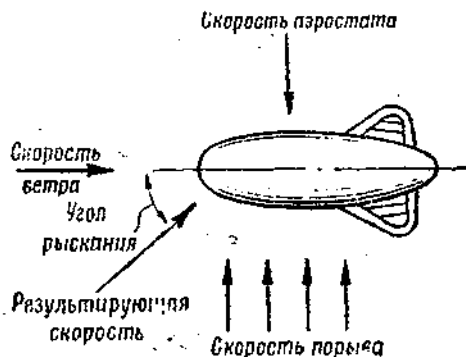


Рис. 61. Скорости аэростата и порыва складываются при возвратном движении аэростата — аэростат как бы набегае на порыв

щиеся натяжения в тросе. Однако это увеличение не беспредельно. Процесс роста натяжения протекает в замедленном темпе, так как скорость перемещения аэростата в направлении, противоположном действию порыва, не возрастает беспредельно, а быстро достигает некоторого предельного значения: аэростат достаточно быстро переходит к закономерному колебательному движению.

Устойчивый в горизонтальной плоскости аэростат после прекращения действия порыва займет такое положение, какое он должен иметь при набегающем на него ровном ветре.

Неустойчивый в горизонтальной плоскости аэростат после прекращения порыва вначале будет продолжать отклоняться в сторону действия порыва, а затем повернется вокруг вертикальной оси таким образом, что знак угла рыскания изменится. Вследствие этого аэростат будет сносить в **сторону**, противоположную первоначаль-



ному направлению движения. **Аэростат** перейдет равновесное положение и будет продолжать незатухающие колебания около равновесного положения, пока новый порыв не изменит его движения.

Вертикальные порывы (восходящие и нисходящие) представляют для аэростата ббльшую опасность, чем горизонтальные.

Аэростат в воздухе устанавливается под углом атаки, который при сильных ветрах может достигать  $10-12^\circ$ , а при слабых не бывает меньше  $4-6^\circ$ .

Восходящий порыв, или вообще восходящий поток воздуха, оказывает на аэростат двойное действие: увеличивает угол атаки аэростата и результирующую скорость потока, обтекающего аэростат. Оба эти обстоятельства вызывают значительный рост аэродинамических сил, а также значительный рост натяжения в тросе. **В этом случае нет такой амортизации движения, какая получается при горизонтальном порыве.**

Амортизация при боковом порыве получалась вследствие отсутствия составляющей натяжений в направлении действия порыва в первый момент движения. Движение аэростата в направлении вертикального порыва задерживается силой натяжения в тросе: аэростат как бы имеет ббльшую инерцию, **большую „сопротивляемость“**, и следовательно, получается значительный рост углов атаки и интенсивный рост натяжения в тросе.

Под действием восходящего порыва или потока трос **выпрямляется**, потолок стремится увеличиться, а угол атаки троса у лебедки заметно растет и этим несколько амортизирует действие порыва.

При резком росте натяжения рекомендуется размотать некоторое количество троса, а после прекращения действия порыва и провисания троса — смотать его.

Нисходящий порыв может заставить аэростат двигаться вниз. Как только аэростат получил отрицательный угол атаки, возникает аэродинамическая сила, направленная сверху вниз. Величина этой силы при значительных скоростях ветра и порыва может быть настолько **большой**, что она преодолет направленную снизу вверх свободную подъемную силу, и аэростат снизится. Снижению, вернее падению, аэростата препятствует вначале свободная подъемная сила. Аэростат замедляет движение, останавливается на какой-то высоте и под действием **сво-**

бодной подъемной силы опять поднимается. Натяжение в тросе колеблется от нуля в процессе снижения и последующего подъема до большой величины, получающейся при натяжении троса аэростатом в конце подъема.

Быстро следующие один за другим нисходящие порывы вызывают резкие колебания натяжения в тросе: трос то ослабевает, то натягивается.

Искусственная амортизация ударов, возникающих в результате ослабления или натягивания троса, которая достигается попеременным сдавливанием и выбором аэростата, затруднительна в том случае, если порывы ветра частые. Главную опасность представляет здесь закручивание троса и местное его ослабление; поэтому маневрами славания и выбора следует пользоваться с большой осторожностью и только в случае возникновения чрезмерных натяжений.

Порывы, направленные так, что действие их протекает одновременно в горизонтальной и вертикальной плоскостях, можно расчленить, и результат будет суммой их действий в обеих плоскостях.

## 6. „Ныряние“ и „клевки“ аэростата

В результате превышения аэродинамического внешнего давления над внутренним давлением газа в оболочке в носовой части корпуса образуется впадина, или „ложка“, как ее называют эксплуатационники.

Распределение аэродинамического давления по корпусу при стоянке аэростата с положительным углом атаки таково, что по верхнему меридиану имеется небольшая область положительного давления, а по всей остальной длине — давления отрицательные, называемые разрежениями; по нижнему меридиану область положительного давления простирается до сечений, удаленных к корме на расстояние до 20% всей длины аэростата, а по всей остальной длине, кроме маленькой области в корме, давления отрицательные. Таким образом, аэродинамическое положительное давление получается лишь в небольшой области носовой и кормовой частей корпуса.

Подобное распределение давления объясняет возможность образования „ложки“ только в носовой части (рис. 62). „Ложка“ может быть симметричная — при стоянке с нулевым углом атаки, и несимметричная — при стоянке с углом атаки, отличным от нуля. В последнем

случае наибольшую протяженность впадина имеет по нижнему меридиану, что вытекает из характера распределения давления по меридианам.

„Ложки“ могут быть кратковременными, проходящими, быстро появляющимися и так же быстро исчезающими, и постоянными, не исчезающими.

Кратковременные „ложки“ могут образоваться в результате воздействия резких, но мало продолжительных порывов ветра или местных порывов, действующих

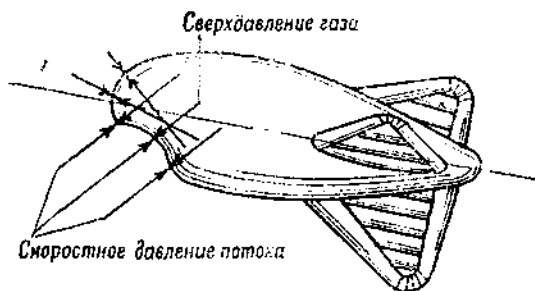


Рис. 62. Образование „ложки“ в носовой части аэростата

только на носовую часть корпуса, или, наконец, при быстром выбирании аэростата в слабый ветер. Такого рода „ложки“ не опасны для аэростата: они вызывают лишь колебания натяжения в тросе, не достигающие больших величин.

Постоянные „ложки“ образуются в результате неисправности стягивающей системы или неисправности системы воздухопитания.

Непосредственным результатом образования „ложки“ является рост сопротивления аэростата. Равновесие аэростата нарушается, резко возрастает горизонтальная составляющая силы натяжения в тросе вследствие роста сопротивления, а также возрастает опрокидывающий момент этой составляющей (рис. 63). Нос аэростата задирается кверху — увеличиваются углы атаки и углы диферента.

Следствием роста углов атаки будет возрастание аэродинамической подъемной силы. Натяжение **продолжает возрастать**, и аэростат получает тенденцию подняться выше того **уровня**, на котором он находился, и размотать больше троса, чему способствует и увеличение сноса.

По мере все большего опрокидывания корпуса газ начинает переливаться в носовую часть; статическое сверхдавление в носовой части аэростата возрастает до тех пор, пока величина его не становится настолько большой, что нарушенная форма аэростата восстанавливается и „ложка“ исчезает.

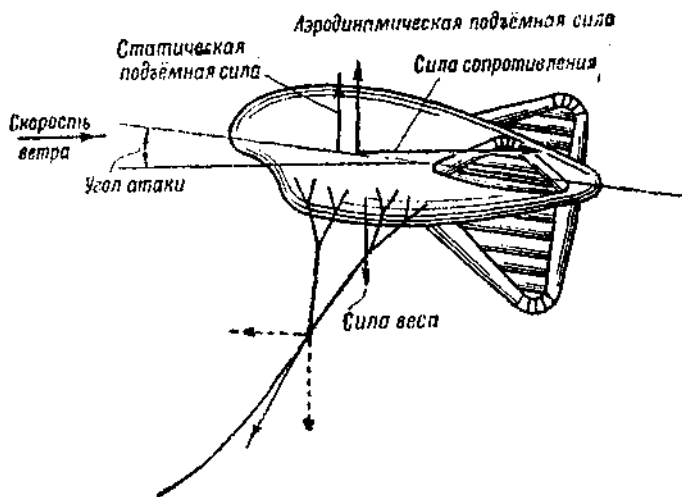


Рис. 63. Силы, действующие на аэростат при образовании „ложки“

После исчезновения „ложки“ сопротивление аэростата уменьшается, и он уже не может уравновеситься на достигнутых углах атаки и дифферента. Углы атаки и дифферента уменьшаются; одновременно снижается значение аэродинамической подъемной силы, и аэростат проваливается („ныряет“).

В процессе падения аэростата углы атаки возрастают по причинам, аналогичным тем, какие рассмотрены при описании выбирания аэростата. Когда аэродинамические силы приобретут достаточно большое значение, спуск прекращается. Высота остановки аэростата будет ниже его равновесной высоты, потому что аэростат перейдет ее по инерции. Поэтому после остановки аэростат опять поднимается, и если „ложка“ больше не образуется, он будет совершать затухающие колебания (рис. 64), пока не уравновесится в начальном положении. Трос будет

то ослабевать, то натягиваться, что способствует закручиванию его и образованию так называемых „барашков”, сильно снижающих местную прочность троса.

В том случае, когда после первого „клевка” и последующего подъема в носовой части корпуса опять обра-

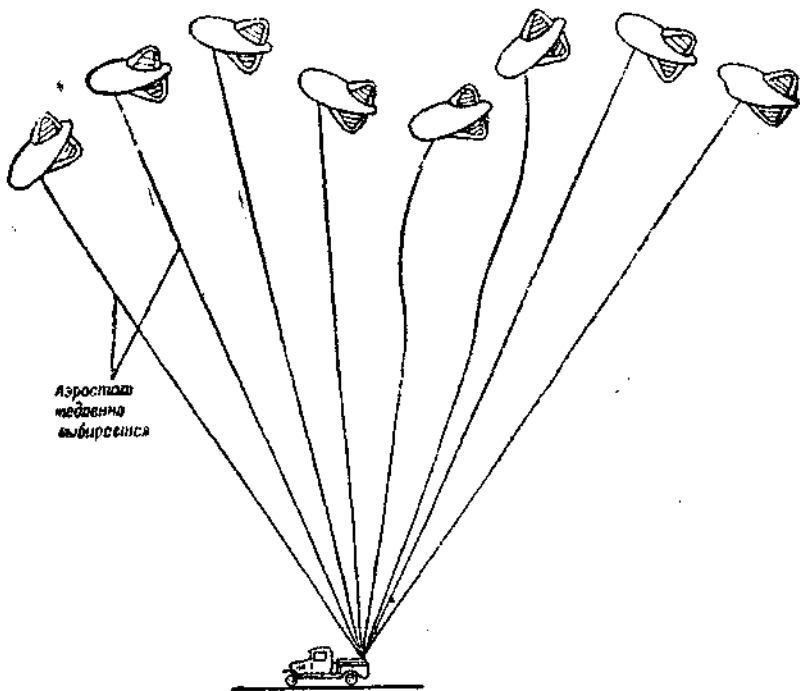


Рис. 64. „Ныряние” аэростата при образовании „ложки”

зовалась „ложка”, аэростат вновь будет совершать описанные выше эволюции. „Ныряние” аэростата, особенно повторяющееся, чаще всего приводит к аварии.

Мотористу следует внимательно наблюдать за поведением аэростата, главным образом при подъеме и при порывистом ветре. Если обнаружится увеличение натяжения и тенденция аэростата подниматься, то эту тенденцию не следует пресекать, а надо только ограничивать скорость подъема. При подъеме уменьшится натяжение в тросе, увеличится темп роста углов диферента и заме-

длится темп роста углов атаки. Газ быстрее перельется в нос, и „ложка“ быстрее исчезнет.

В дальнейшем нужно следить за тем, чтобы трос сильно не провисал. Для этого при „нырянии“ аэростата трос следует подтягивать, оставляя все же небольшое провисание, которое будет выбрано аэростатом при последующем подъеме.

Главное здесь заключается в том, чтобы не допустить чрезмерных натяжений в тросе, сдавая при больших натяжениях и выбирая при падении натяжения.

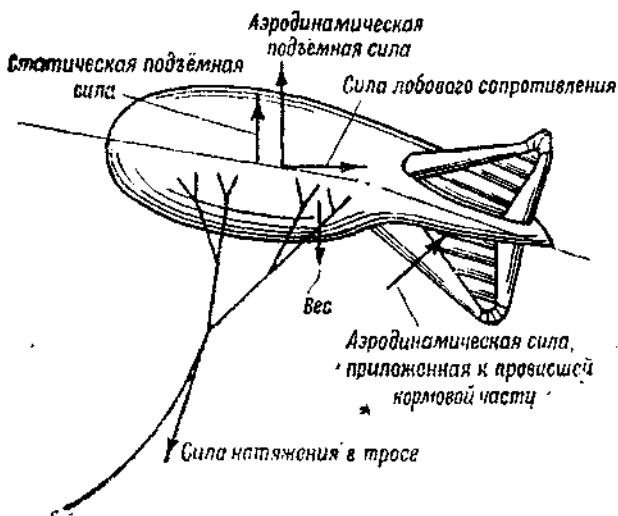


Рис. 65. Силы, действующие на аэростат с провисшей кормой

Появление „ложки“ — не единственная причина резкого снижения аэростата. „Ныряние“ происходит и вследствие дефектов кормовой части аэростата.

Непосредственной причиной „клевка“ в этом случае является провисание кормовой части, которое может произойти вследствие недостаточного сверхдавления или при постановке тяжелого оперения в корме, имеющего малую подъемную силу, или, наконец, при попадании удлиненных аэростатов в зону резких, порывистых ветров.

Провисание кормовой части, превращающее ее в огромный стабилизатор, вызовет появление значительной

аэродинамической силы, направленной перпендикулярно провисшей части корпуса (рис. 65). Момент этой силы действует таким образом, что аэростат приобретает дифферент на нос.

Эффект опускания носа усиливается тем, что углы атаки боковых стабилизаторов возрастают по сравнению с углом атаки носовой части корпуса, и момент сил, действующих на боковые стабилизаторы, направлен в ту же сторону, что и момент силы, приложенной к провисшей части корпуса.

Одновременно с углами дифферента уменьшаются и углы атаки. Аэродинамическая подъемная сила уменьшается и при отрицательных углах атаки меняет направление действия. Натяжение в тросе, зависящее от аэродинамических сил, понижается, и в результате процесс уменьшения углов атаки усиливается.

Когда аэродинамическая сила, направленная сверху вниз, приобретает величину, превосходящую свободную подъемную силу, аэростат, имея большой отрицательный угол атаки, начнет „нырять“. На какой-то высоте аэростат уравновесится и действием свободной подъемной силы будет снова поднят (рис. 66).

Аэростат будет совершать подъем с положительным углом атаки, полученным при замедлении снижения и остановке в результате действия момента силы веса. Как известно, подъем характерен малыми углами атаки и большими углами дифферента, поэтому аэростат будет подниматься с задраным кверху носом, газ перетечет в носовую часть, сверхдавление в корме уменьшится, и кормовая часть вновь провиснет.

Аэростат опять „нырнет“, уравновесится, жесткость кормовой части увеличится вследствие перетекания газа в корму при больших отрицательных углах, и аэростат начнет подъем. При такой „игре“, происходящей при порывистом ветре, аэростат обычно обрывается в результате местного ослабления троса.

В английском авиационном журнале „Flight“ описаны случаи массового обрыва аэростатов во время шторма. Из описаний очевидцев можно сделать вывод, что основной причиной обрыва было „ныряние“ аэростатов.

Подобные обрывы характерны тем, что трос обрывается не в самой верхней точке, а в месте образования „барашков“, и аэростат, улетаая, уносит с собой трос значи-

тельной длины. Разумеется, и при **обрывах**, происходящих по другим причинам, трос может оборваться не в самой высшей точке, где натяжение максимальное, а в **промежуточной**, где по каким-либо причинам трос имеет ослабленное сечение. Но такой обрыв представляет **исключение**, между тем как при „нырянии“ характерен обрыв именно в промежуточном сечении; в данном случае такой обрыв является **правилом**.

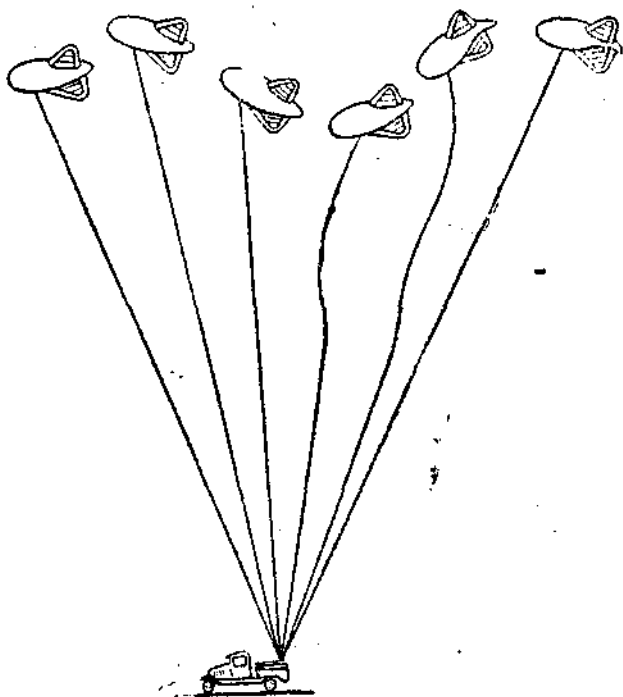


Рис. 66. „Ныряние“ аэростата с провисшей кормой

Если при „нырянии“ аэростата искусство моториста бессильно помешать **обрыву**, то тем больше должна быть необходимость принимать возможные предупредительные меры.

Зоны порывистых ветров, о которых получены сведения, следует проходить возможно быстрее, особенно при спуске. В случае провисания кормы быстрый спуск может **оказаться** полезным до начала „ныряния“. Кроме того, перед подъемом в зону сильных порывистых ветров сле-



дует обеспечить повышенное статическое сверхдавление в оболочке.

Резкое снижение аэростата возможно и в том случае, когда корма изгибается выпуклостью книзу. Такое положение может получиться под действием сильных ветров на аэростат, имеющий недостаточно жесткую корму.

Аэродинамические моменты при стоянке аэростата с положительным углом атаки изгибают корпус так, как **это** показано на рис. 18. В этом случае углы атаки имеют тенденцию увеличиться. Аэродинамическая сила сопротивления возрастет, равновесие нарушится, и аэростат снизится, когда аэродинамическая подъемная сила оперения и всей кормовой части резко уменьшится или изменит направление. Но равновесное положение при больших силах сопротивления и малых **подъемных** силах может наступить только при больших углах атаки.

Аэростат приобретает огромный снос, потолок его уменьшится и сильно возрастут натяжения в тросе. Характер снижения будет отличаться тем, что все время трос будет натянут и углы атаки будут положительными.

## 7. Аэростат у земли

Стоянка и маневрирование аэростата у земли — обычные эксплуатационные условия. Аэростат может находиться в различных положениях относительно ветра, и в зависимости от положения аэростата к нему будут приложены те или иные силы.

В безветрие на аэростат действует только свободная подъемная сила. Так как эта сила невелика, то обслуживающий расчет без особого напряжения справляется с аэростатом. При равномерной работе всего расчета **нагрузка**, приходящаяся на каждого номера, определяется простой формулой:

$$N = \frac{F}{n},$$

где  $N$  — нагрузка на каждого номера расчета в кг;

$F$  — свободная подъемная сила в кг;

$n$  — число номеров расчета.

Стоянка у земли на тросе характерна неустойчивым положением аэростата. Сколько-нибудь значительный ветер у земли почти всегда порывистый; порывистые же

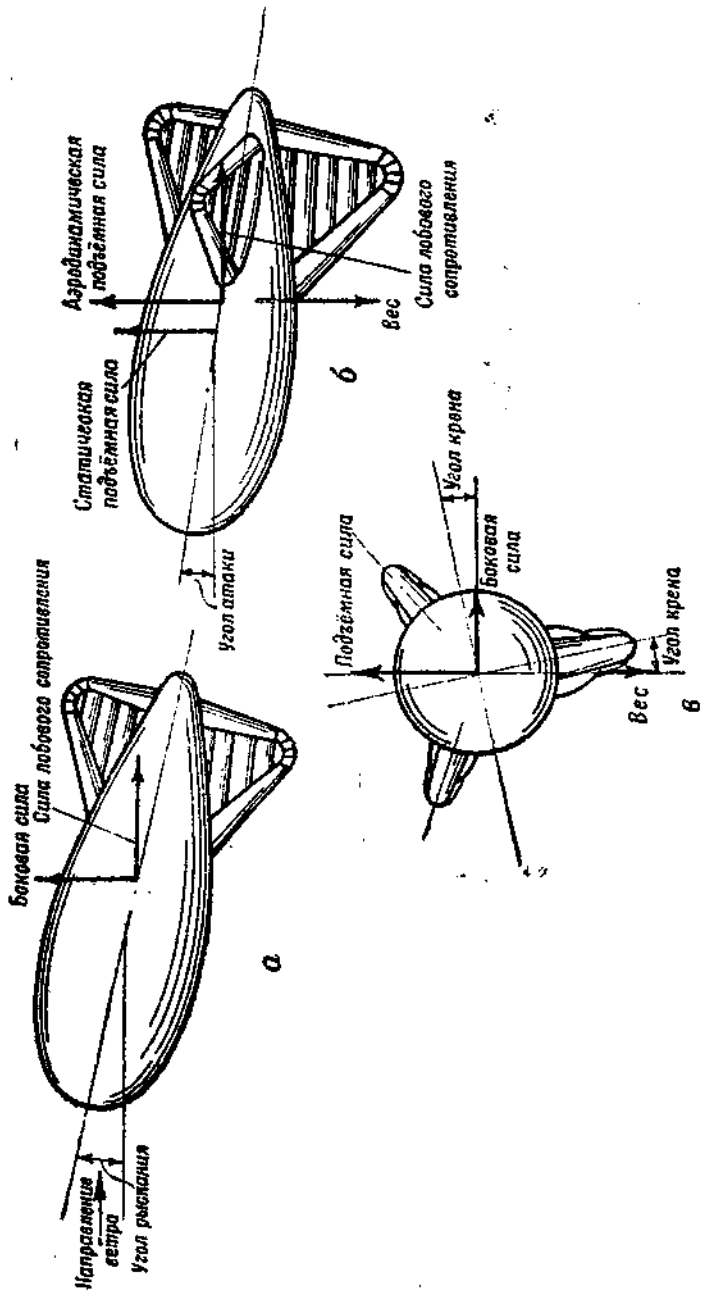


Рис. 67. Силы, действующие на аэростат при стоянке на тропе у земли:  
 а — в горизонтальной плоскости; б — в вертикальной плоскости; а — в сечении

ветры, действующие на аэростат, создают дополнительные аэродинамические и инерционные силы.

Порывы не чередуются правильно и возникают часто по случайным причинам или в результате сложных явлений, не дающих возможности уловить какую-либо закономерность. Движение аэростата у земли также не носит правильно повторяющегося характера: аэростат бросает то вправо, то влево, то носом вперед, то кормой назад. Несмотря на такие броски, эти порывы не должны внушать опасения до тех пор, пока средняя скорость ветра у земли позволяет производить операции с аэростатом.

Стоянка аэростата при ровном ветре у земли ничем не отличается от стоянки на потолке при тех же условиях.

Максимальное натяжение в тросе может быть замерено непосредственно у лебедки.

Маневрируя у земли во время ветра, аэростат располагается в горизонтальной плоскости под различными углами рыскания. В зависимости от величин углов рыскания на аэростат могут действовать небольшие или весьма значительные силы. На рис. 67 показаны примерные направления и относительные величины сил, действующих на аэростат. Эти силы были получены при испытаниях в лаборатории модели дирижабля, имевшей удлиненную форму и значительную площадь оперения. Хотя аэростат отличается от дирижабля, но разница настолько незначительна, что для аэростата можно принять те же силы.

При больших углах рыскания на аэростат действует не только боковая сила, но и продольная и вертикальная силы, возникающие вследствие неравномерного обтекания корпуса потоком воздуха. Для аэростатов с малым и большим удлинением приведены кривые изменения продольных и поперечных сил при углах атак от нуля до 90° (рис. 68 и 69).

Продольная сила определяется по заданным коэффициентам формулой:

$$X_1 = C_{x_1} \cdot \frac{v^2}{16} U^3,$$

где  $X_1$  — продольная аэродинамическая сила, направленная по оси аэростата;

$C_{x_1}$  — коэффициент продольной аэродинамической силы;

$v$  — скорость ветра;

$U$  — объем аэростата.

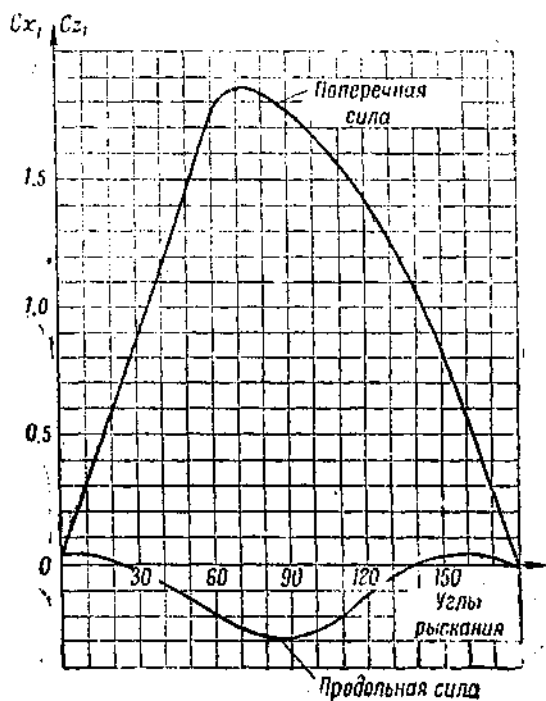


Рис. 68. Коэффициенты поперечной и продольной аэродинамических сил, приложенных к аэростату удлиненной формы

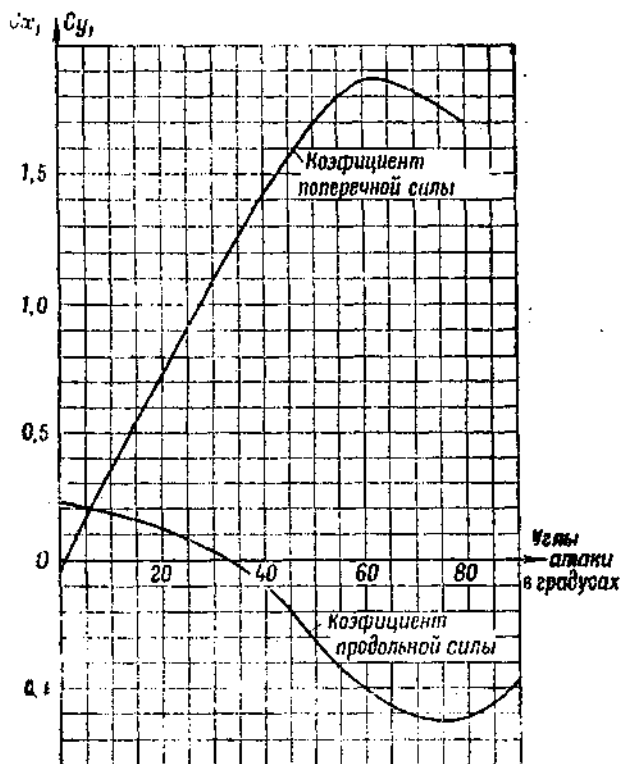


Рис. 69. Коэффициенты продольной и поперечной аэродинамических сил, приложенных к аэростату малого удлинения

Поперечная сила определяется формулой

$$Z_1 = C_{z_1} \cdot \frac{v^2}{16} \cdot U^{2n},$$

где  $Z_1$  — поперечная аэродинамическая сила, направленная перпендикулярно продольной оси аэростата;

$C_{z_1}$  — коэффициент поперечной силы.

Например, при угле атаки в  $70^\circ$ , ветре 10 м/сек и объеме аэростата  $500 \text{ м}^3$  продольная сила:

$$X_1 = 0,19 \cdot \frac{100}{16} \cdot 64 = 76 \text{ кг},$$

поперечная сила:

$$Z_1 = 1,75 \cdot \frac{100}{16} \cdot 64 = 700 \text{ кг}.$$

Особенно большие значения имеет поперечная сила. Уже при средних ветрах она достигает величины, значительно превосходящей свободную подъемную силу. Отсюда следует, что всегда нужно стремиться устанавливать аэростат у земли под нулевым углом рыскания.

Эксперименты показали, что аэростат, установленный носом против ветра, имеет примерно в два раза меньшее сопротивление, чем тот же аэростат, установленный кормой против ветра. Поэтому для облегчения работы расчета аэростат всегда нужно стремиться держать носом против ветра.

Аэростат, установленный на биваке с убранными стабилизаторами, при одинаковых внешних условиях и одинаковых углах атаки подвергается действию меньших сил, чем аэростат, маневрирующий у земли.

Так, при угле атаки  $40^\circ$  на чистый корпус аэростата действуют:

продольная сила

$$X_1 = 0,51 \cdot \frac{100}{16} \cdot 64 = 204 \text{ кг};$$

поперечная сила

$$Z_1 = 0,64 \cdot \frac{100}{16} \cdot 64 = 256 \text{ кг}.$$

На аэростат с выполненными стабилизаторами действуют большие силы:

продольная сила

$$X_1 = 0,816 \cdot \frac{100}{16} \cdot 64 = 327 \text{ кг};$$

поперечная сила

$$Z_1 = 1,4 \cdot \frac{100}{16} \cdot 64 = 560 \text{ кг}.$$

---

**ТАБЛИЦА СТАНДАРТНОЙ АТМОСФЕРЫ**  
(сокращенная, численные величины округлены)

№ по пор.	Высота в метрах	Температура в градусах Цельсия	Давление в миллиметрах ртутного столба	Давление на высоте		Плотность воздуха в кг/м <sup>3</sup>	Плотность воздуха на высоте	
				Давление у земли	Давление у земли		Плотность воздуха у земли	Плотность воздуха у земли
1	0	15,0	760	1,0	1,225	1,0		
2	500	11,75	716	0,942	1,168	0,953		
3	1000	8,50	674	0,887	1,112	0,907		
4	1500	5,25	634	0,834	1,058	0,864		
5	2000	2,00	596	0,784	1,007	0,822		
6	2500	— 1,25	560	0,737	0,957	0,781		
7	3000	— 4,50	526	0,692	0,909	0,742		
8	3500	— 7,75	493	0,649	0,863	0,705		
9	4000	—11,0	462	0,608	0,819	0,669		
10	4500	—14,25	433	0,570	0,770	0,634		
11	5000	—17,5	405	0,533	0,736	0,601		
12	5500	—20,75	379	0,498	0,697	0,569		
13	6000	—24,0	354	0,466	0,660	0,538		
14	6500	—27,25	330	0,434	0,624	0,509		
15	7000	—30,5	308	0,405	0,590	0,481		
16	7500	—33,75	287	0,377	0,557	0,454		
17	8000	—37,0	267	0,351	0,525	0,428		
18	8500	—40,25	248	0,326	0,495	0,404		
19	9000	—43,5	230	0,303	0,466	0,381		
20	9500	—46,75	214	0,281	0,439	0,358		
21	10000	—50,0	198	0,261	0,413	0,337		



## О Г Л А В Л Е Н И Е

	Стр.
Введение . . . . .	3
<b>Глава I. Аэростатика . . . . .</b>	<b>5</b>
1. Подъемная сила . . . . .	—
2. Статика атмосферы . . . . .	8
3. Изменение подъемной силы . . . . .	12
4. Перегрев и переохлаждение . . . . .	17
5. Сверхдавление. Клапаны . . . . .	20
<b>Глава II. Аэродинамика . . . . .</b>	<b>24</b>
1. Аэродинамика аэростата . . . . .	—
2. Аэродинамика троса . . . . .	36
<b>Глава III. Подъемно-эксплуатационные характеристики аэростата . . . . .</b>	<b>45</b>
1. Балансировка . . . . .	—
2. Потолки и сносы аэростата . . . . .	55
<b>Глава IV. Динамика аэростата . . . . .</b>	<b>68</b>
1. Стоянка аэростата в воздухе . . . . .	—
2. Боковой снос . . . . .	74
3. Подъем аэростата . . . . .	79
4. Выборание аэростата . . . . .	85
5. Стоянка аэростата во время порывистого ветра . . . . .	95
6. Ныряние и „клевки“ аэростата . . . . .	101
7. Аэростат у земли . . . . .	108
<b>Приложение. Таблица стандартной атмосферы . . . . .</b>	<b>115</b>

Перевтрено 1946

КОПИЛОНА  
 АУНОВА БИБЛИОТЕКА  
 Ш. Короленко. Харків  
 № 761547  
 19 17 46

932543

р-полковник Технический редактор Шевченко Н. Г.	Яковлев А. ф. Корректор Андропова К. Д.
F801075	Подписано к печати 3.12.45 г.
Уч.-авт. л. 59.	В 1 п. л. 37 000 тип. за.
	Объем 7 <sup>1/4</sup> п. л. + 1 вкл.
	Зак. № 1464

2-я типография Управления Воениздата НКО  
 имени К. Е. Ворошилова