



Предисловие

Путь человека в небо был очень длинным и трудным. Человек – не птица, и не дала ему природа крыльев. Но мечтали о полете люди всегда. Мечтали, но летать не могли. Ну не могли - не позволяла технология, наука, техника. Однако, прогресс не стоит на месте, и шаг за шагом, благодаря энтузиастам и гениям своего времени – Да Винчи, Лилиенталю, братьям Райт и многим другим выдающимся ученым и просто пионерам своего дела, люди получили возможность подниматься в небо и летать, пусть в самолете с ревущим мотором, но Летать!

С момента первого полета братьев Райт прошло чуть больше ста лет, но в развитии авиации произошел колоссальный скачок – теперь самолеты летают быстрее скорости звука, перевозят многие тонны груза, там, где не сядет самолет, летит вертолет, ракеты поднимают в космос космонавтов – и все это происходит каждую минуту, по всей Земле. По всей Земле, которая стала теперь такой крошечной, теперь, когда на самолете можно добраться до другого полушария в течении нескольких часов.

Но путь в большую авиацию открыт не всем. Почему? Все очень просто – не все вовремя понимают, чего хотят, не у всех получается поступить в летное училище, не все могут пройти строгую медицинскую комиссию. Да и вообще, не все хотят работать пилотом.

Эти или схожие причины приводят многих людей в малую авиацию – авиацию, называемую в США «основной» - ведь больше всего именно пилотов малой авиации – это и планеры, и дельтапланы, и, конечно же, парапланы.

А в малой авиации больше всего именно парапланеристов, ведь параплан – самый легкий и простой летательный аппарат, доступный каждому человеку, который когда-либо изобрело человечество.

Параплан, ближе всего приближающий человека к птице. Параплан, помещающийся в рюкзаке и позволяющий летать по всему миру.

Не нужно ничего более – только Вы, параплан, горка, три шага – и Вы летите!

Цель данного конспекта – как можно проще изложить теорию полетов на параплане, особенности конструкции параплана, затронуть вопросы безопасности полетов.



Рис.1. Параплан Aeros Style-2

1. История развития парашютеризма

Парапланы ведут свою родословную от спортивных парашютов - «крыльев», которые в свою очередь произошли от парашютов с круглым куполом.

Парашюты с круглым куполом имели довольно ограниченные возможности для пилотирования, и не позволяли свободно выбирать направление своего движения, на них возможно было лишь сдуться вместе с ветром.



Рис.2. Десантный парашют Д-5

Примерно в 1940-е года был изобретен парашют, имеющий прямоугольную форму и аэродинамический профиль крыла, похожий на профиль крыла самолета. Форма крыла поддерживалась набегающим спереди через специальные воздухозаборники воздухом.



Рис.3. Парашют «крыло»

Такой парашют уже мог планировать с высоты раскрытия на расстояние, примерно, равное этой высоте. Он также мог управляться с помощью двух строп, идущих от задней кромки крыла.

Однажды французские спортсмены слетели на таком парашюте с горы, что сразу открыло новый вариант использования парашюта – парашюта, предназначенного не для прыжков, а для полетов. Данный парашют начали изготавливать из менее прочной ткани, т.к. он не должен был выдерживать больших ударных нагрузок при раскрытии. Конструкция претерпела значительные изменения, был выбран более совершенный аэродинамический профиль, что позволило такому парашюту планировать на расстояние, в разы превышающее высоту старта. Такой парашют и получил название «параплан» - парашют планирующий, или paraglider.



Рис.4. Парапланы в полете

- Важно!**
1. Парапланеризм – самый молодой вид авиационного спорта
 2. Параплан предназначен для старта с земли, а не прыжков из самолета
 3. Параплан планирует на расстояние, в разы превышающее высоту старта, т.е. он больше летит, чем снижается, в отличие от парашюта

2. Парапланы сегодня

Бурное развитие парапланерной техники привело к появлению многочисленных моделей различных производителей. Отличие их параметров, в т.ч. пассивной безопасности потребовало введения сертификации безопасности крыльев, чтобы пилот при покупке знал, крыло с каким характером он собирается приобрести.

В разное время существовали различные системы сертификации парапланов:

1. Французская система **ACPUL** ([фр.](#) *Association des Constructeurs des Planeurs Ultra-Legers* — Ассоциация конструкторов безмоторных СЛА) — первая система сертификации парапланов, получившая широкое признание и активно применявшаяся с начала 90-х годов.
2. Система **AFNOR** на парапланы ([фр.](#) *Association Francaise de NORmalisation* — Французская ассоциация по сертификации) — французский государственный стандарт на парапланы, поглотивший систему ACPUL в средние 90-х годов.
3. Немецкая система **LTF** ([нем.](#) *Lufttüchtigkeitsforderungen* — требования к лётной годности), ранее называвшаяся **DHV** ([нем.](#) *Deutscher Hangegleiter Verband* — Немецкая Ассоциация Дельтапланеризма) — начала разрабатываться одновременно с развитием массового парапланеризма (с середины 80-х годов) исключительно для немецкого рынка, оказалась более продуманной системой сертификации, чем ACPUL и AFNOR, и, в отличие от последних, со временем приобретала всё большее распространение и авторитет.
4. Единая евронорма на парапланы **CEN, EN** ([фр.](#) *Comité Européen de Normalisation* или [англ.](#) *European Committee for Standardization* — Европейский комитет по стандартизации) — разрабатывалась как единая система для всех стран Евросоюза с начала XXI века на основе систем AFNOR и DHV, но широко применяться начала лишь в 2006 году.

LTF (была DHV) (немецкая)	DHV 1	DHV 1-2		DHV 2	DHV 2-3	open class
		low	high			
CEN (европейская - пришла на смену AFNOR)	CEN A	CEN B		CEN C	CEN D	
AFNOR (французская)	Standard			Performance		Competition

Рис.5. Соотношение классов парапланов различных систем сертификации

Характеристика классов безопасности парапланов (в системе AFNOR):

1. Парапланы класса «Standard» — отличаются простотой управления и высокой степенью безопасности, они прощают многие ошибки пилотирования и самостоятельно выходят из опасных режимов, но вместе с тем обладают более низкими лётными качествами. *Предназначены для начинающих пилотов и пилотов, имеющих небольшой налёт, а также для редко летающих пилотов*

2. Парапланы класса «Performance» — уже требуют определённого опыта пилотирования, для выхода из опасных режимов требуют однократного правильного воздействия пилота, обладают лучшими лётными качествами. *Предназначены для подготовленных пилотов (пилотов «выходного дня») и опытных пилотов*
3. Парапланы класса «Competition» — обладают самыми высокими лётными качествами, но при этом очень требовательны к пилоту, для выхода из опасных режимов требуют совершения определённой последовательности правильных действий. *Предназначены для спортсменов, профессионалов и очень опытных пилотов*

В зависимости от назначения можно выделить следующие виды парапланов:

1. учебные (школьные) — предназначенные для первоначального обучения пилотов
2. для маршрутных полётов
3. акро — предназначенные для выполнения высшего пилотажа (аэробатика)
4. тандем — двухместные парапланы (как правило для полётов опытного инструктора с человеком, не имеющим специальной подготовки)
5. для моторизированных полётов (парамоторы, паралеты)

- Важно!**
4. Сегодня существует большое количество видов парапланов, как по назначению, так и по уровню пассивной безопасности
 5. Пилот должен ответственно подходить к выбору крыла, учиться летать не следует на параплане класса EN C и выше

3. Конструкция парашюта

Рассмотрим конструкцию современных парашютов, для начала определимся, какие составные части входят в состав всего летательного аппарата:



Рис.6. Составные части парашюта как летательного аппарата

Необходимо отметить, что парашютом часто называют и летательный аппарат в целом, и само крыло, но конструктивно они отличаются.

Купол, стропная система, клеванты и свободные концы составляют непосредственно парашют, иногда называемый «крылом». Когда речь идет о сертификации парашютов, имеют ввиду сертификацию «крыла».

Крыло и подвеска составляют парашют как летательный аппарат. Подвеска удерживает пилота с помощью плечевых ремней, грудной, ножных и Т-образных перемычек и надежно защищает с помощью протектора. Соединяется с парашютом с помощью высокопрочных карабинов. Также, в подвеске размещают запасной парашют, предназначенный для применения в экстренных случаях.

Крыло, подвеска, а также шлем для защиты головы являются необходимым минимумом для первых полетов и обучения. При освоении полетов на больших высотах необходимо иметь запасной парашют.

Конструкция самого крыла в разрезе имеет следующий вид:

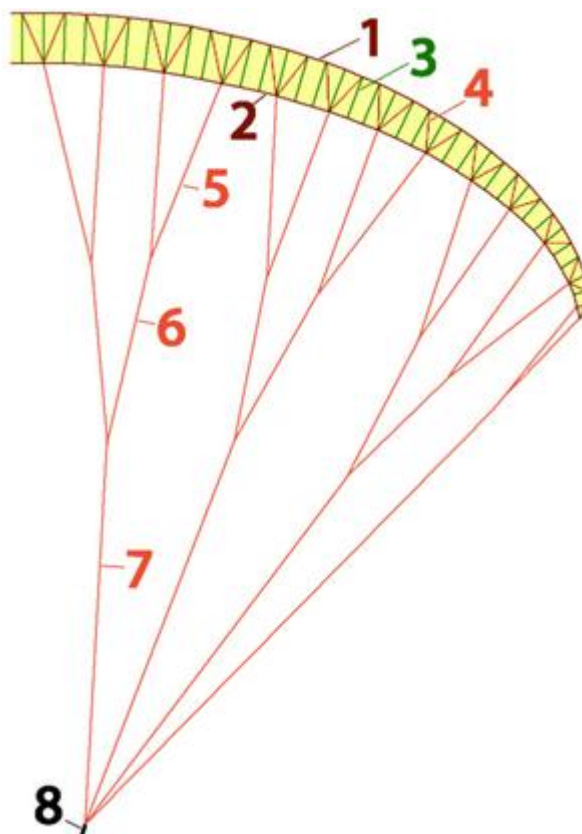


Рис.7. Конструкция парашюта

Конструктивно парашют как крыло состоит из:

1. Верхняя поверхность. Выполнена из высокопрочной воздухонепроницаемой ткани – гелвинора, скайтекса и др.
2. Нижняя поверхность. Выполнена также из воздухонепроницаемой ткани, но менее прочной, т.к. нагрузки на нее меньше
3. Промежуточные нервюры. Соединяют верхнюю и нижнюю поверхности и задают профиль крылу
4. Силовые нервюры. К ним подвязывают стропы
5. Стropy верхнего яруса – наименее прочные в стропной системе (нагрузка на разрыв около 80 кг)
6. Стropy среднего яруса – имеют нагрузку на разрыв порядка 120-200 кг
7. Стropy нижнего яруса – самые прочные (нагрузка на разрыв около 250 кг)
8. Свободные концы

Верхняя и нижняя поверхности соединяются по задней кромке крыла, а по передней – нет, образуя воздухозаборники, через которые в парашют поступает

набегающий поток воздуха и создает в нем давление, поддерживающее форму крыла:



Рис.8. Воздухозаборники и нижняя поверхность парашюта

Верхняя и нижняя поверхности по всей протяженности от передней до задней кромки соединяются специальными перемычками – нервюрами, которые имеют определенную форму (аэродинамический профиль) и делят крыло на множество секций (обычно 50), что помогает крылу поддерживать свою форму.

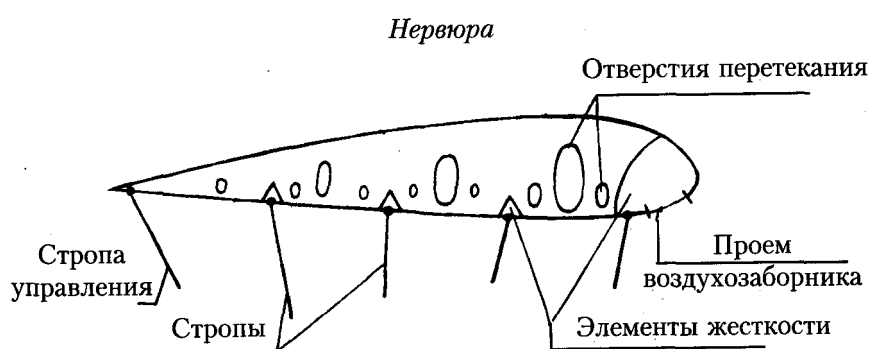


Рис.9. Нервюра парашюта

В нервюрах выполнены отверстия перетекания, по которым набегающий поток воздуха поступает в другие секции и поддерживает давление по всему размаху парашюта.

Как было сказано выше, к нервюрам крепятся стропы, которые образуя стропную систему, крепятся к свободным концам (всего два). Свободные концы

выполнены из особо прочной тканевой ленты. Лента образует три или четыре ряда, к каждому из которых и крепятся стропы:

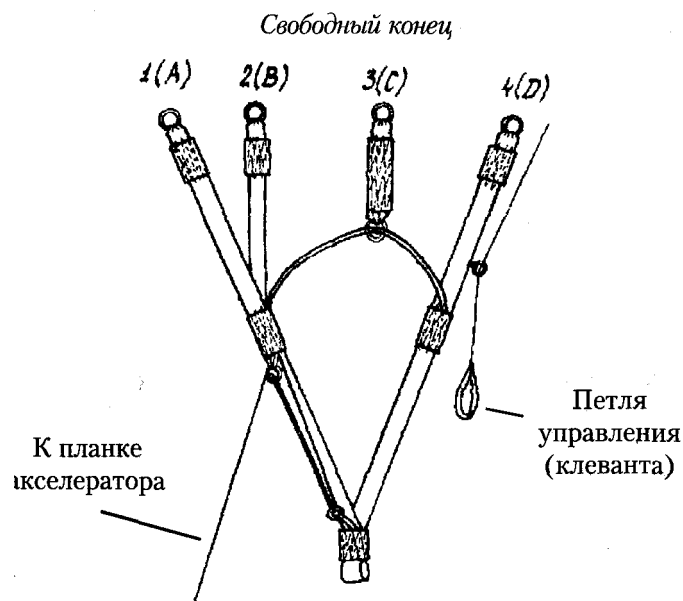


Рис.10. Свободный конец стропной системы

Каждый ряд строп имеет название – первый (А), второй (В), третий (С), четвертый (D, не всегда присутствует).

Конструкция некоторых свободных концов позволяет менять геометрию крыла с помощью акселератора или триммеров, что влияет на скорость полета.

Подвесная система также выполнена из прочной тканевой ленты и образует удобное сидение для пилота, удерживая его с помощью системы обхватов и перемычек. Кроме того, встроенный протектор защищает пилота, а уложенный в подвеску запасной парашют выручит пилота в экстренной ситуации:

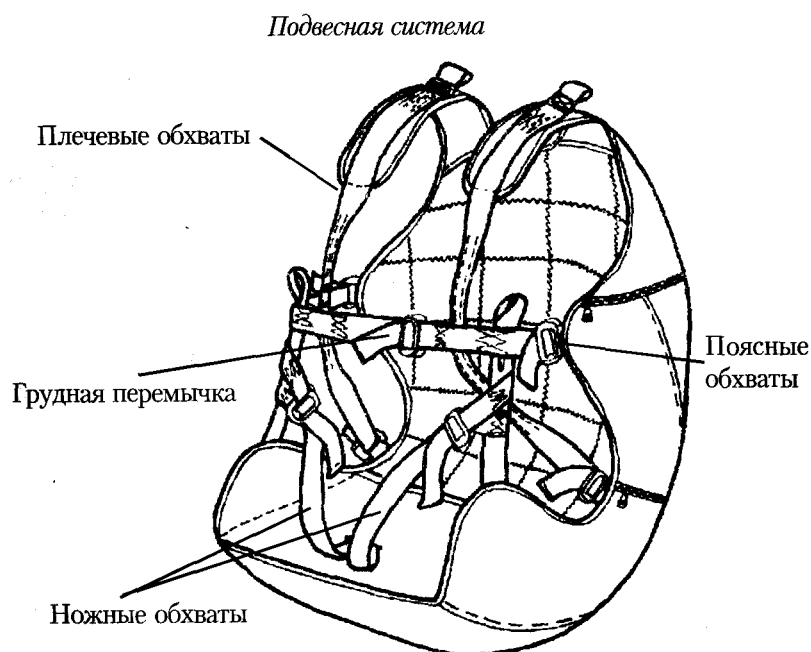


Рис.11. Подвесная система

- Важно!**
6. Парапланом называют как само крыло, так и весь летательный аппарат в целом
 7. Параплан, подвеска и шлем – необходимый минимум для полетов на малой высоте и обучения. При полетах на больших высотах необходимо иметь запасной парашют
 8. Нервюры задают аэродинамический профиль всему крылу, который поддерживается набегающим через воздухозаборники потоком воздуха

4. Основы аэродинамики парашюта

Итак, перейдем к изучению физических основ полета парашюта.

Прежде всего отметим, что воздух - не вакуум, это смесь газов, молекулы которых создают сопротивление движущимся в них телам, и чем быстрее движутся эти тела, тем большее сопротивление они испытывают. Однако, воздействие потока воздуха на движущееся тело не ограничивается только сопротивлением, поэтому говорят, что на тело действует *общая аэродинамическая сила*:

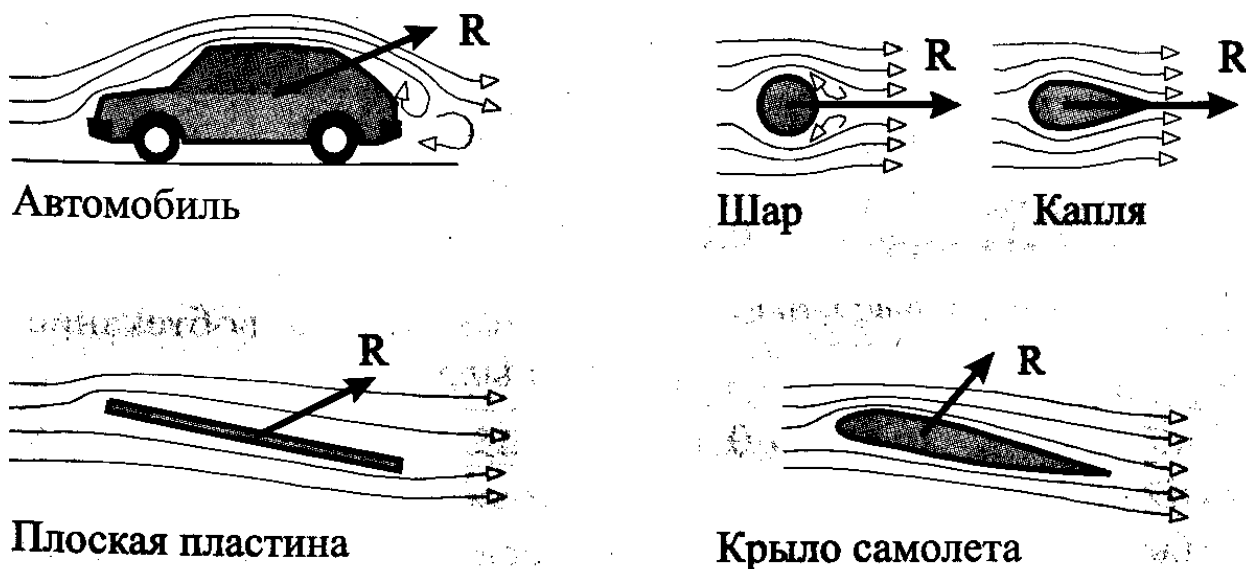


Рис.12. Воздействие общей аэродинамической силы на движущееся в воздухе тело

Общая аэродинамическая сила выражается формулой:

$$R = C_R \frac{\delta V^2}{2} S \quad (I)$$

Где:

1. Характерная *площадь* (S). Учитывает размеры твердого тела. Очевидно, что чем крупнее тело, тем больше сила его взаимодействия с воздухом.

2. *Плотность воздуха* (δ). У земли она меняется незначительно и ее влияние сложно заметить. На высоте воздух становится более разреженным, а снижение плотности воздуха приводит к уменьшению полной аэродинамической силы.

3. *Скорость набегающего потока* (V). Очень важный параметр, так как в формуле присутствует в квадрате. Увеличение скорости в два раза приведет к четырехкратному возрастанию полной аэродинамической силы.

4. *Коэффициент общей аэродинамической силы* (C_R). Этот параметр учитывает форму, характер обтекания и ориентацию тела относительно потока.

Если рассматривать общую аэродинамическую силу как вектор силы, мы сможем разложить ее на 2 другие векторные силы – подъемную силу (Y) и силу сопротивления (X):

$$R = Y + X,$$

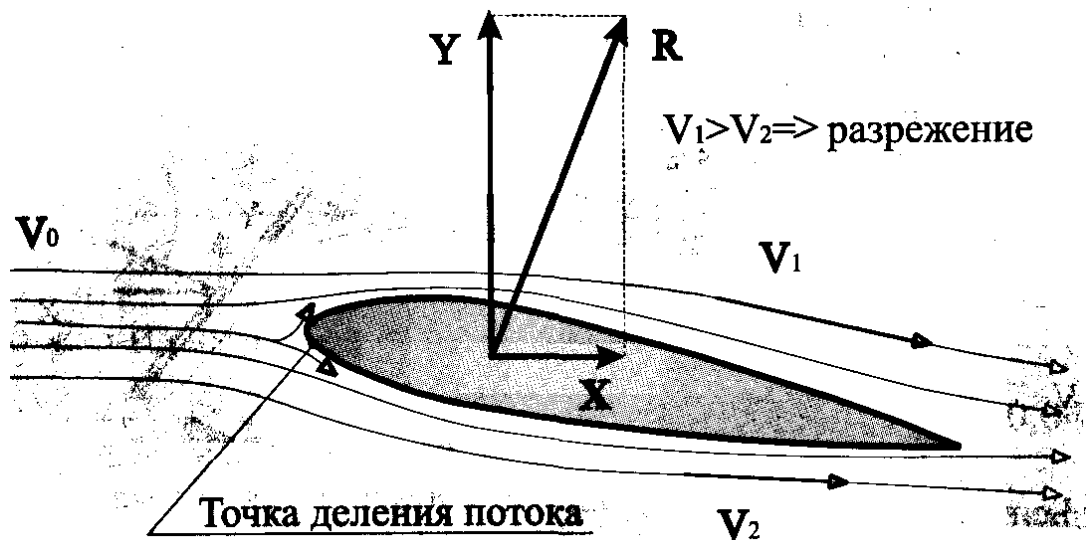


Рис.13. Подъемная сила и сила сопротивления

Рассмотрим процесс образования подъемной силы крыла. Прежде всего, определимся с основными геометрическими характеристиками крыла:



Рис.14. Геометрические характеристики крыла

Набегающий поток воздуха ударяется о переднюю кромку и огибает крыло по верхней и нижней поверхностям. Если расстояние от передней кромки до задней по верхней поверхности больше такого расстояния по нижней (аэродинамический профиль), то скорость потока над крылом становится больше скорости под крылом (см. рис. 13). Согласно закону Бернулли это вызывает уменьшение давления над крылом. Давление под крылом не меняется, соответственно разность давлений стремится поднять крыло – возникает подъемная сила.

Подъемная сила зависит от ориентации крыла относительно потока, или, другими словами, от *угла атаки* - угла между направлением потока и хордой крыла. *Хорда крыла* – прямая от передней кромки до задней.

В общем виде, подъемную силу и силу сопротивления можно представить в следующем виде:

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S$$

$$X = C_x \frac{\rho V^2}{2} S$$

Где:

C_y – коэффициент подъемной силы, учитывающий форму и ориентацию крыла относительно потока,

C_x – коэффициент сопротивления, учитывающий форму, ориентацию и качество поверхности.

Таким образом, данные коэффициенты характеризуют подъемную силу и сопротивление, которые создает крыло.

Зависимость коэффициентов подъемной силы и сопротивления от угла атаки выглядит следующим образом:

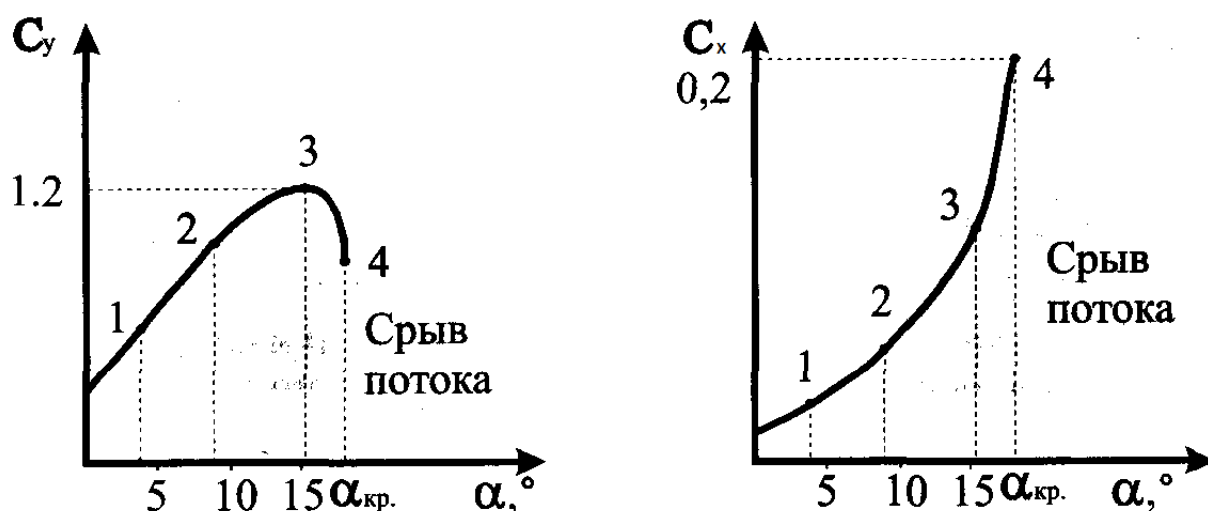


Рис.15. Зависимость коэффициентов подъемной силы и сопротивления от угла атаки

По данным графикам видно, что с увеличением угла атаки подъемная сила растет намного быстрее силы сопротивления до определенного момента, когда подъемная сила резко падает, а сопротивление увеличивается – происходит *срыв потока*, а данный угол называется *критическим*:

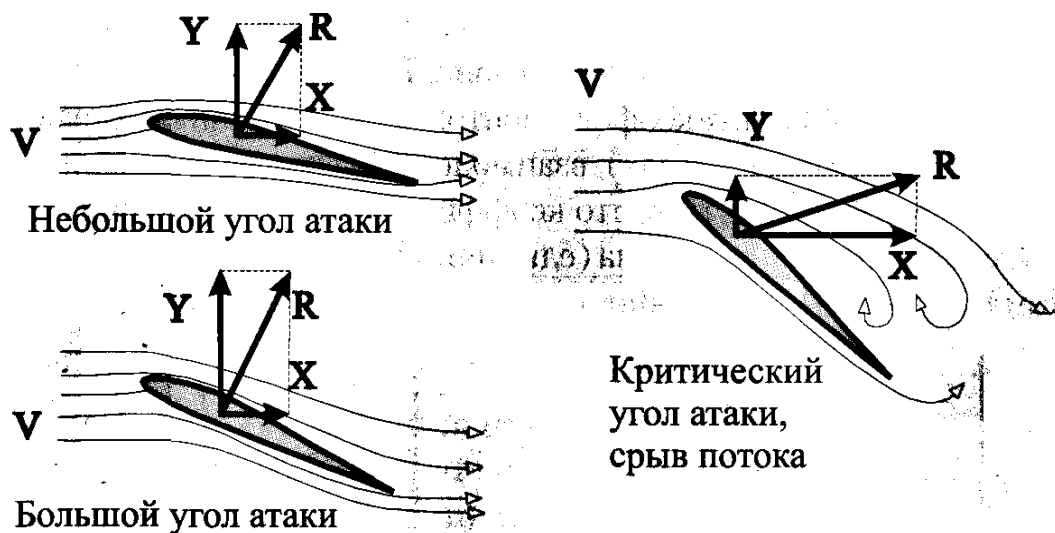


Рис.16. Изменение аэродинамических сил в зависимости от угла атаки крыла

Срыв потока приводит к потере горизонтальной скорости и подъемной силы крыла – ЛА уже не летит, а падает. Причем срыв потока возможен как на всем крыле ЛА, так и на части крыла, что приводит к потере управления ЛА.

Угол атаки пароплана меняется с помощью клевант. Чем больше пилот тянет клеванты вниз, тем больший угол атаки приобретает пароплан. Как правило, при полностью опущенных клевантах (поднятых руках) крыло летит на балансировочном угле атаки, а при затягивании клевант на полностью опущенные руки происходит превышение критического угла атаки и срыв потока с крыла.

Очень важно не допускать затягивания клевант до «критического» уровня. Данное действие допускается лишь в момент касания земли при посадке, это мы рассмотрим позже.

Для того, чтобы разобраться в происходящих при этом процессах, рассмотрим силы, действующие на летательный аппарат в полете.

Установившийся режим полета – режим, при котором все параметры полета (скорость, снижение, курс) остаются постоянными.

Установившийся горизонтальный полет

Изобразим самолет в установившемся горизонтальном полете в скоростной системе координат. Скоростная система координат удобна для анализа режимов полета и расчета аэродинамических сил. Ось X расположена по направлению вектора скорости набегающего потока. Ось Z направлена «на нас» в плоскости крыла (перпендикулярно X). Ось Y направлена «вверх» перпендикулярно плоскости XZ.

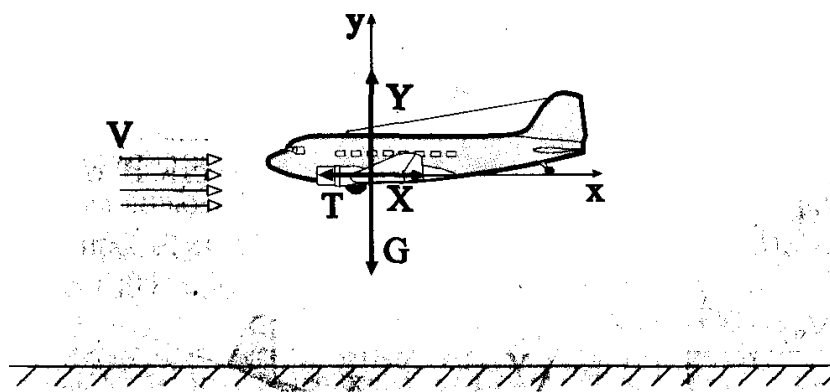


Рис.17. Силы, действующие на летательный аппарат

На самолет действуют сила тяжести, подъемная сила, сила сопротивления и сила тяги двигателя. Согласно второму закону Ньютона, сумма всех этих сил равна нулю (в установившемся полете).

$$\bar{G} + \bar{Y} + \bar{X} + \bar{T} = 0$$

Запишем это уравнение в проекциях на скоростную систему координат:

$$\text{ось OY: } Y - G = 0 \Rightarrow Y = G$$

$$\text{ось OX: } X - T = 0 \Rightarrow X = T$$

Из уравнений следует, что подъемная сила уравнивает силу тяжести, а сила тяги двигателя уравнивает силу сопротивления. Равновесие этих сил и обеспечивает установившийся горизонтальный полет.

Установившееся планирование

С самолетом понятно, у него есть двигатель. А за счет какой силы летит планер или пароплан? Все дело в том, что установившийся полет планера не

горизонтален. Планер «скользит» по наклонной траектории, и вместо двигателя работает проекция силы тяжести. Здесь идеально подходит аналогия с шариком, который скатывается по наклонной плоскости (рис. 18). Шарик движется за счет неуравновешенной проекции силы тяжести.

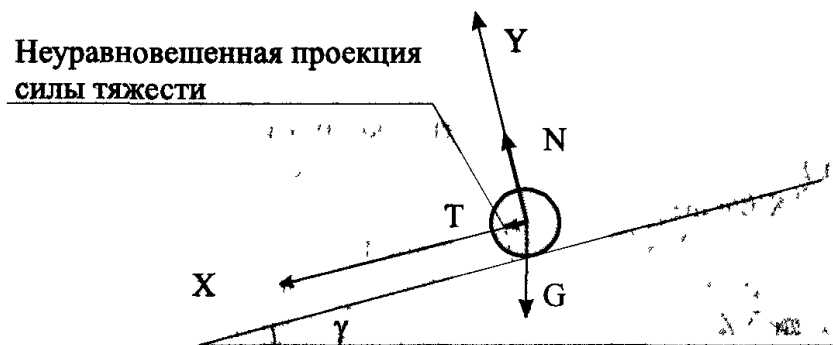


Рис.18. Силы, действующие на шарик

Пусть планер летит по траектории, имеющей угол γ с горизонтом. Вектор скорости уже не перпендикулярен силе тяжести, и имеет с ней угол. Подъемная сила всегда перпендикулярна вектору скорости. В итоге получаем систему сил (рис. 19).

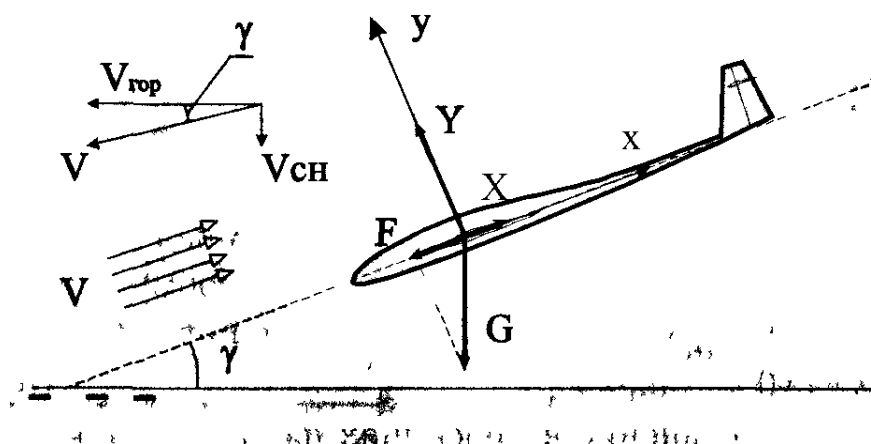


Рис.19. Силы, действующие на планер

Режим установившийся, поэтому сумма всех сил равна нулю.

$$G + Y + X = 0$$

В проекциях на скоростную систему координат:

$$Y - G \cos(\gamma) = 0 \Rightarrow Y = G \cos(\gamma)$$

$$X - G \sin(\gamma) = 0 \Rightarrow X = G \sin(\gamma)$$

Так как угол γ обычно мал, то приближенно можно считать, что:

$$\cos(\gamma) = 1, \text{ а } Y = G$$

Итак, безмоторный летательный аппарат летит с постоянным снижением. От чего зависит скорость снижения? Из рисунка 19 можно найти проекции скорости на вертикальную и горизонтальную оси земной системы координат.

$$V_{\text{гор}} = V \cos(\gamma) = V$$

$$V_{\text{сн}} = V \sin(\gamma)$$

Чем меньше угол γ , тем меньше скорость снижения. Как мы уже выяснили, угол γ образуется из-за необходимости компенсировать силу сопротивления. Соответственно, уменьшение силы сопротивления уменьшает скорость снижения.

В аэродинамике используется понятие *аэродинамического качества*, равного отношению коэффициентов подъемной силы и силы сопротивления.

$$K = C_y/C_x$$

Из предыдущих формул получаем:

$$C_y/C_x = Y/X$$

Тогда

$$KC_y/C_x = Y/X = \operatorname{tg}(\gamma)$$

Аэродинамическое качество показывает, во сколько раз подъемная сила больше силы сопротивления. Так, при качестве 5 и весе пилота с парашютом в 100 кг, получаем:

$$Y = 100 \text{ кг}; X = 20 \text{ кг}.$$

С помощью аэродинамического качества, можно узнать какое расстояние пролетит пилот с имеющейся высоты (рис. 20). При качестве 5 пилот со 100 м пролетит 500 м.

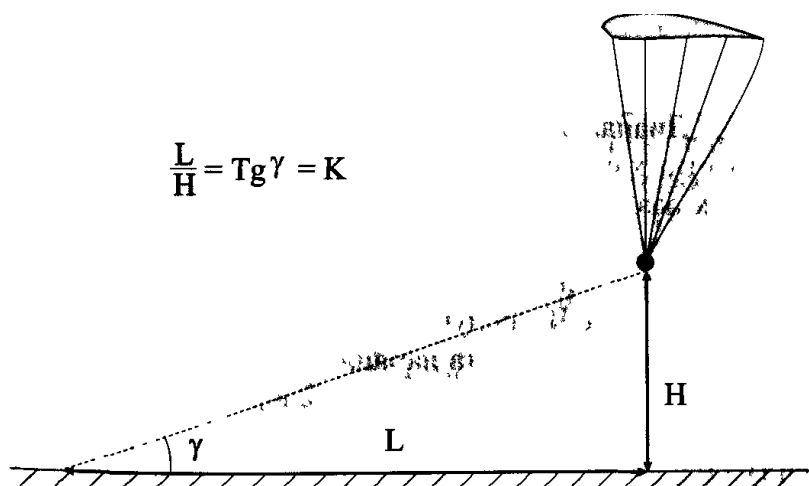


Рис.20. Планирующий полет парашюта

Очевидно, что один из путей совершенствования летательных аппаратов - увеличение качества. У современных планеров качество превышает 50. А у спортивных парашютов оно приближается к 12.

Установившийся набор высоты

Самолеты не только планируют, летают горизонтально, но и набирают высоту (имеется ввиду набор высоты в спокойном воздухе за счет тяги двигателя). На парашюте такой режим возможен при полете с парамотором и буксировке за лебедкой. В этом случае движение так же происходит по наклонной траектории, но «в горку».

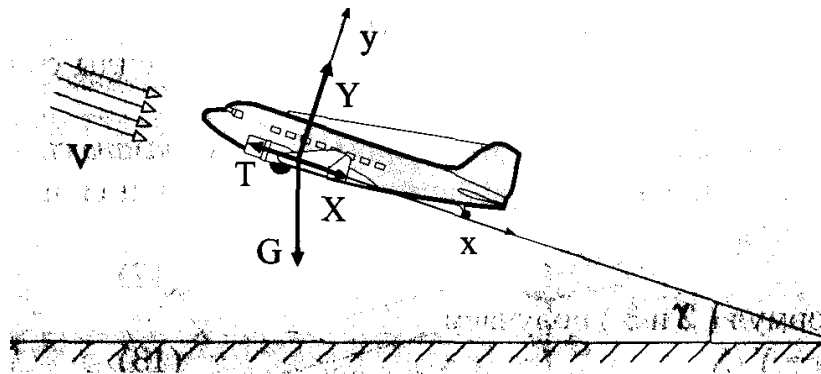


Рис.21. Набор высоты

$$Y + G + X + T = 0$$

В проекциях на оси:

$$Y - G \cos(\gamma) = 0 \Rightarrow Y = G \cos(\gamma)$$

$$X - T \sin(\gamma) = 0 \Rightarrow T = X + G \sin(\gamma)$$

Сила тяги уравнивает силу сопротивления и проекцию силы тяжести. Чем больше сила тяги, тем больший угол подъема она обеспечивает.

Скорость полета. Управление скоростью.

Диапазон скоростей полета.

Диапазон полетных скоростей парашюта.

В предыдущих разделах мы считали, что летательный аппарат летит с какой-то определенной скоростью. От чего зависит скорость полета? В каких пределах меняется? Как ею управлять? С какой скоростью летать? В этой главе Вы получите ответы на все эти вопросы.

Скорость полета парашюта.

Представьте себе, что вы взлетели. Успокоившись после суматохи старта, ваш парашют летит с постоянной скоростью (наступило равновесие сил). От чего зависит скорость полета? Вспомним уравнение установившегося планирования.

$$Y = G \cos(\gamma)$$

Подъемную силу можно определить по формуле:

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S$$

Объединяя уравнения, получаем формулу для определения скорости полета:

$$V^2 = \frac{2G}{C_y \rho S}$$

Из формулы видно, что скорость постоянна, пока постоянны все остальные параметры уравнения (полетный вес G , коэффициент подъемной силы C_y , площадь крыла S , плотность воздуха). При их изменении равновесие сил нарушается. Полет перестает быть установившимся. Происходит *переходный режим полета*, во время которого меняется скорость полета и восстанавливается

равновесие сил. В результате парашан переходит к новому (!) установившемуся режиму полета.

Итак, у нас появилась возможность проанализировать за счет чего и в каких пределах можно менять скорость полета.

Влияние полетного веса и площади крыла.

Часто можно услышать шутки над тяжелыми пилотами по поводу их летучести. Между тем, тяжелые пилоты создают меньшее удельное сопротивление и летают даже лучше легких! Им просто нужен большой парашан.

Вес и площадь связаны через величину удельной нагрузки:

$$\lambda = G/S$$

Если удельные нагрузки парашанов равны, то их скорости одинаковы. Легкий пилот на маленьком парашане будет лететь так же, как тяжелый - на большом.

Изменение удельной нагрузки часто используется спортсменами. Для увеличения веса применяют балласт - воду, заливаемую в специальный мешок. При необходимости балласт сливают (иногда на соперника). Увеличение веса на 10% приводит к увеличению скорости на 5%.

Нагруженный парашан летит быстрее и лучше управляется. Из-за повышенного давления в крыле у него реже происходят складывания. К сожалению, увеличение скорости полета вызывает возрастание скорости снижения.

С недогруженным парашаном легче летать в слабых условиях (меньше снижение). Но такой парашан хуже управляется и чаще складывается. С ним сложнее взлетать в сильный ветер из-за высокой «парусности».

Влияние плотности воздуха.

Чтобы заметить это влияние, нужно подняться на значительную высоту. Первый раз увеличение скорости за счет уменьшения плотности я заметил во время маршрутного полета на Кавказе. На высоте 4800 м мои «крейсерские» 38 км/ч превратились в 45 км/ч. Это здорово помогло быстрому прохождению 60 км маршрута. Не лишним будет напоминание об увеличении скорости на взлете. Иногда в горах приходится использовать лыжи, потому что «люди так не бегают».

Влияние коэффициента подъемной силы.

Все предыдущие параметры сложно использовать для управления скоростью. Для этого подходит коэффициент C_y , который сильно зависит от угла атаки и формы профиля. На самолете угол атаки регулируют рулем высоты, а форму профиля закрылками и элеронами.

У парашана угол атаки и форма профиля меняется одновременно с помощью строп управления (клевант). Если вы летите с отпущенными клевантами, то C_y минимален, а скорость максимальна (35...38 км/ч). Затягивая клеванты на полный допустимый ход, вы увеличиваете C_y и уменьшаете скорость полета (20...22 км/ч).

Управление скоростью

Как вы уже поняли, парашан управляется стропами управления. Затягивая или отпуская клеванты, пилот уменьшает или увеличивает скорость полета. Осталось разобраться, что происходит при переходном процессе управления.

Итак, вы опять в полете и, затягивая стропы управления, увеличиваете угол атаки. У крыла увеличился C_u . Подъемная сила возрастает и становится больше силы тяжести. Равновесие сил нарушается. Вас ждет приятный эффект - парашан снижается медленней, а иногда даже набирает высоту. К сожалению, подобная роскошь длится не долго. Сила сопротивления тоже увеличилась и сильнее тормозит парашан. Скорость полета уменьшается, аэродинамические силы уменьшаются, равновесие сил восстанавливается. Парашан перешел к новому (!) (меньше скорость, больше угол атаки) установившемуся режиму полета (рис.21)

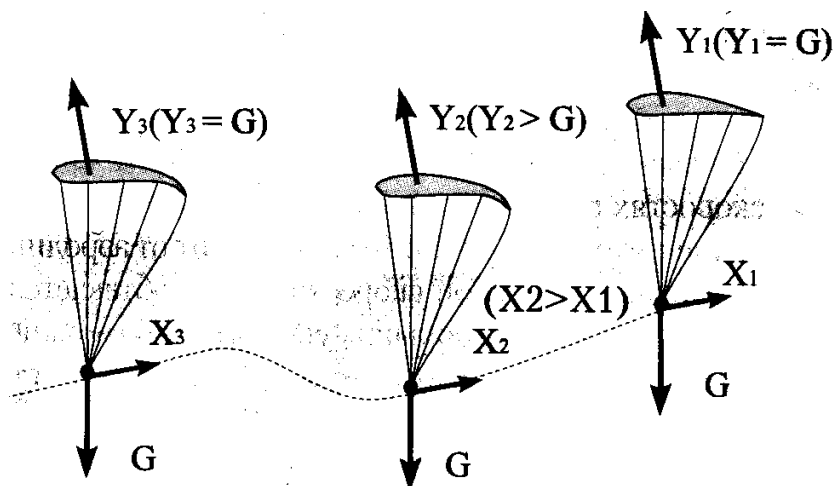


Рис.21. Управление скоростью парашана

«Горка» и «ямка»

Кратковременный набор высоты с помощью строп управления называют «горка». Им инстинктивно пользуются новички, пытающиеся любым способом покинуть грешную землю. Не забывайте, что при отпуске строп управления вас ждет обратный процесс «ямка». Происходит набор скорости за счет потери высоты. Действует закон сохранения энергии: кинетическая энергия скорости увеличивается за счет уменьшения потенциальной энергии высоты. Все как на велосипеде: едешь в горку - теряешь скорость, едешь с горки - набираешь скорость,

Ограничения по скорости полета

Уменьшение скорости полета происходит за счет увеличения угла атаки крыла (рис. 22). Но угол атаки нельзя увеличивать больше критического значения из-за возникающего срыва потока. Скорость, при которой начинается срыв потока, называется минимальной скоростью полета. Запомните! Полет на скорости, близкой к минимальной, опасен!!! Угол атаки близок к критическому значению, и любое случайное возмущение (порыв ветра, восходящий поток и т. д.) может вызвать срыв потока (рис. 23). Поэтому новичкам рекомендуют летать на большой скорости, используя полный ход управления лишь на посадке.

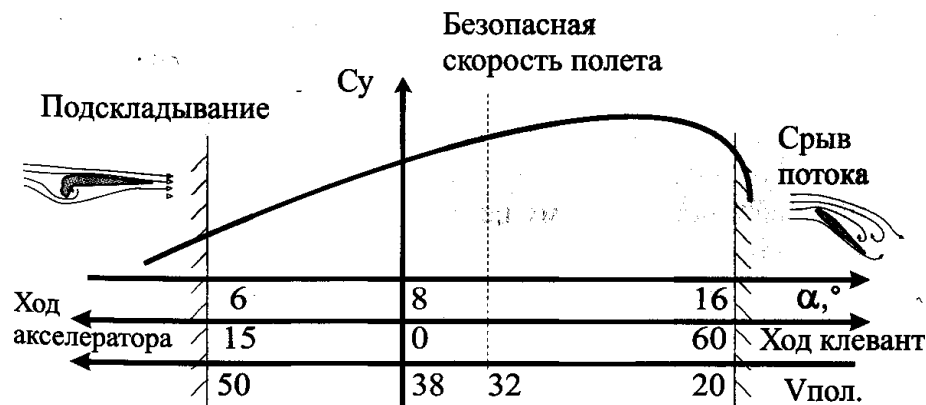


Рис.22. Скоростной диапазон парашюта

Итак, с нижним пределом скорости (около 20 км/ч) мы познакомились. Что же ограничивает верхний предел? При отпущенных стропях управление парашютом летит на минимальном (установочном) угле атаки. Величину этого угла выбирают из соображений безопасности и задают конструкцией стропной системы парашюта. Такой угол атаки и обеспечивает максимальную установочную скорость полета. Обычно это 35...38 км/ч

При необходимости, скорость полета можно увеличить. Для этого используют специальное приспособление - акселератор. Выжимая ногами подножку акселератора, пилот меняет геометрию стропной системы. Угол атаки уменьшается. Скорость возрастает.

Применение акселератора позволяет разогнать современный спортивный парашют до скорости 50...55 км/ч. Это и является верхней границей скорости (рис. 22). Дальнейшее увеличение скорости опасно. Мягкое крыло работает на очень маленьком угле атаки и может сложиться из-за атмосферной турбулентности (рис. 23)

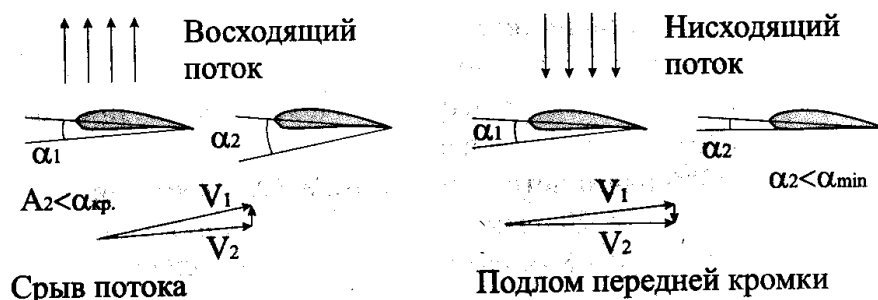


Рис.23. Изменение угла атаки в нестабильном воздухе

Безопасная скорость полета

Новички часто пугаются: медленно летать опасно, быстро опасно, так куда же деваться? Не бойтесь. Во-первых, опасны лишь границы скоростного диапазона, а во-вторых, учебный парашют устойчив, его трудно довести до опасного режима. В случае же возникновения опасной ситуации, парашют способен самостоятельно возвращаться к нормальному полету.

Оптимальной считается скорость, обеспечивающая максимальный запас в сторону увеличения и уменьшения угла атаки. В этом случае, даже очень сильное возмущение не выведет угол атаки из допустимого диапазона. Обычно, такая скорость достигается при немного затянутых клевантах - примерно 10...20% от

максимально допустимого хода. Как показывает опыт, этот режим наиболее комфортен, и им часто пользуются как новички, так и профессионалы.

Управление направлением полета

Динамика поворотов

«Древесная» статистика. Что новичка всегда умиляет в параплане, так это кажущаяся простота. В руках всего две стропы управления. Нужно влево - тянешь левую стропу, вправо - правую. Между тем, редкое дерево, имевшее несчастье вырасти вблизи учебной горки, не познало радость встречи с парапланеристами. Увидев препятствие, пилот начинает нервно дергать клеванты, и, окончательно запутавшись в двух стропах управления, гнездится на дереве.

Мораль сей басни такова: параплан входит в разворот с запаздыванием в 1-2 секунды, и, дергая за клеванты трудно добиться чего-либо, кроме раскачки. Плавное затяните клеванту и ждите, пока параплан не войдет в режим поворота.

Для ввода параплана в режим поворота достаточно создать перепад в положении клевант. Представьте, что вы затянули только правую стропу управления. Правая половина тормозит, и летит медленнее левой. Крыло параплана поворачивает, а вы пока еще летите прямо (вот почему запаздывание!). Из-за этого разногласия возникает крен. Появляется проекция подъемной силы, которая меняет направление вашей скорости и уравнивает появляющуюся центробежную силу.

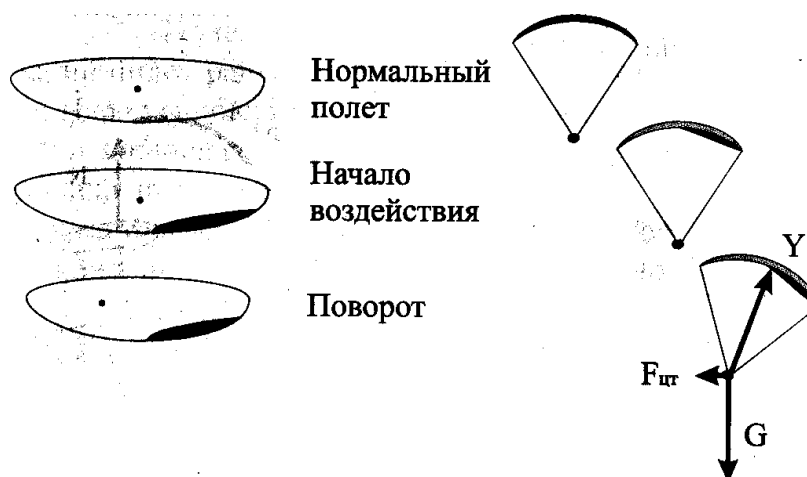


Рис.24. Поворот параплана

При повороте появляется перегрузка, так как на вас действует не только сила тяжести, но и центробежная сила, возникающая при изменении направления скорости. Эта же сила толкает пассажиров при повороте автомобиля. Чем интенсивней поворот, тем больше центробежная сила. При резком повороте параплана она вызывает значительный крен и перегрузку, нежелательные для начинающих пилотов.

При повороте, части крыла двигаются на разных скоростях и обтекаются под разными углами атаки. Помните, что сорвать можно не только все крыло, но и его часть! В этом случае параплан начинает быстро вращаться и падает. Не превышайте допустимого хода клевант.

Глубокая спираль. Так называют длительный (несколько витков) интенсивный поворот с перегрузкой. Из-за перегрузки (до 3 G) сильно возрастают скорость полета (до 100 км/ч) и скорость снижения (до 18 м/с). Внешняя к

повороту часть крыла движется быстрее внутренней, и может сминаться, так как работает на малом угле атаки. В режим глубокой спирали можно входить лишь при должном опыте.

Устойчивость парашлана

Всевозможные возмущения (порывы ветра, управление и т. д.) выводят парашлан из состояния равновесия. Способность летательного аппарата самостоятельно возвращаться к заданному режиму полета называется устойчивостью. Различают устойчивость по курсу, крену и тангажу

Курс, крен и тангаж - углы, определяющие положение летательного аппарата относительно земли.

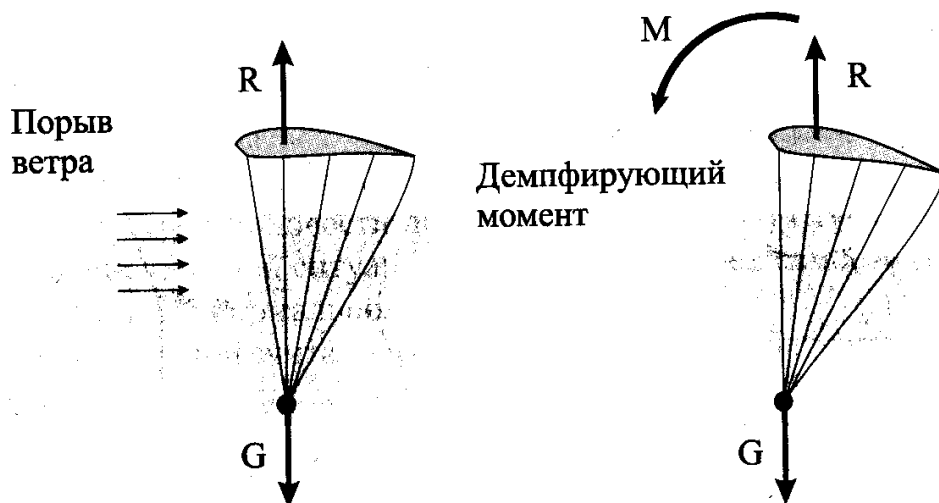


Рис.25. Клевов парашлана

Устойчивость самолета обеспечивают киль, стабилизатор, строгая центровка и т. д. У парашлана все проще - он устойчив за счет низкого положения центра тяжести (похож на большой маятник). Если крыло швырнуло шальным порывом ветра, то сила тяжести возвратит парашлан в полетное положение.

Устойчивость по тангажу

Обычно крыло парашлана находится над головой пилота. В результате внешнего воздействия или управления крыло может оказаться сзади или впереди пилота. Происходит это из-за инерции пилота. Крыло значительно легче пилота. При изменении режима (например, торможение) легкое крыло тормозит, а тяжелый пилот летит дальше (по инерции). Крыло оказывается сзади пилота (рис. 25). Вот тут-то и срабатывает эффект маятника. Сила тяжести возвращает пилота под крыло, он проскакивает положение равновесия и крыло оказывается впереди. Процесс повторяется и продолжается, пока колебания не затухнут. Скорость затухания колебаний определяется демпфирующей способностью парашлана. Хороший парашлан демпфируется за 1...2 колебания.

Устойчивость по крену и курсу

Все процессы похожи на описанные выше. Особенность в том, что крен парашлана вызывает изменение курса. Поэтому, при колебаниях по крену, парашлан будет «рыскать» по курсу.

Почему нежелательны колебания?

Редкий пилот радуется, когда крыло начинает качаться над его головой. Параплан быстрее снижается, пилота трясет в подвеске, но это мелочи. Основная неприятность в том, что при колебаниях крыло параплана приближается к критическим углам атаки. Когда ваше крыло бросает назад, угол атаки увеличен (опасность срыва), а когда крыло ныряет вперед, угол атаки уменьшен (опасность складывания).

Не нужно бояться колебаний. Это нормальный процесс, который сопровождает полет параплана. Возникающие колебания можно легко демпфировать (гасить) с помощью правильного (активного) управления.

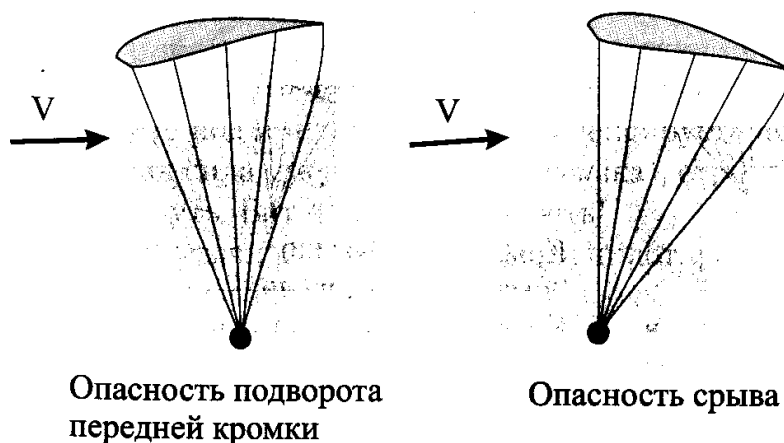


Рис.25. Колебания параплана

Демпфирование колебаний.

Три совета пилотам:

1. Не провоцируй! Не нужно вызывать колебания самому. Резкое «нервное» пилотирование приводит к тому, что параплан быстро меняет режимы полета и сильно раскачивается. Плавное «ласковое» пилотирование позволяет параплану постепенный переход к новому режиму и существенно уменьшает колебания.

2. Не усугубляй! Если колебания возникли, а вы еще не умеете их гасить, то лучше не помогайте параплану. Новичкам часто говорят: «Не мешай параплану лететь» При демпфировании колебаний очень легко сделать все наоборот и усилить раскачку параплана. Пусть ваше верное крыло самостоятельно вернется в нормальный режим полета, оно на это рассчитано.

3. Помогай! Вы можете помочь параплану умелыми действиями. Когда крыло обгоняет (ныряет), его нужно притормозить клевантами. Когда крыло забрасывает назад, его нужно разогнать (поднять клеванты). В момент, когда крыло замирает в крайних положениях (впереди или сзади), нужно плавно переводить клеванты в нейтральное положение.

То же самое с колебаниями по крену. Нужно притормаживать поднимающуюся сторону крыла, а в верхней точке переводить клеванты в нейтральное положение (рис. 26)

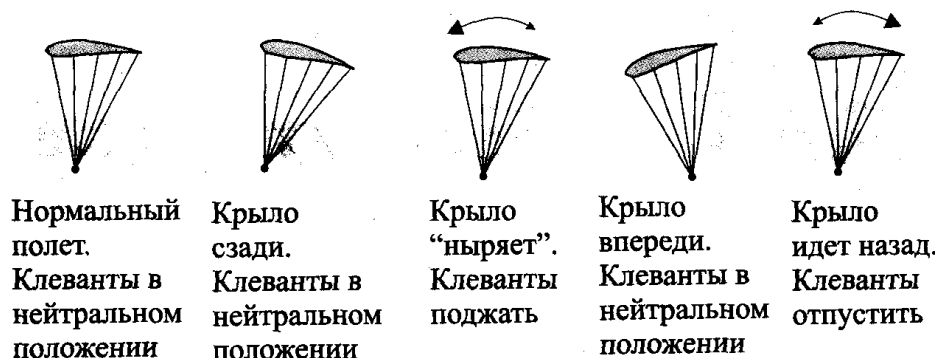


Рис.26. Демпфирование колебаний парашюта

Активное пилотирование.

Идея активного пилотирования состоит в том, что пилот старается сохранить установившийся (равновесный) режим полета. Работая стропами управления, пилот компенсирует влияние порывов ветра так, чтобы аэродинамические силы крыла оставались постоянными. В этом случае не нарушается равновесие сил и парашют не раскачивается.

Итак, я вновь отправляю вас в полет. Представьте, что в ваш парашют «ударяет» порыв ветра. Увеличивается скорость набегающего потока, возрастают подъемная сила и сила сопротивления. Вы чувствуете перегрузку, парашют подбрасывает вверх, начинаются колебания. Когда порыв стихнет, подъемная сила и сила сопротивления уменьшатся. Вы почувствуете «разгрузку» крыла, парашют провалится вниз и опять начнутся колебания.

А теперь попробуем применить активное пилотирование. В момент, когда подъемная сила увеличивается, и вы чувствуете перегрузку, нужно отпустить стропы управления. Этим действием вы уменьшите подъемную силу и скомпенсируете порыв ветра. Когда подъемная сила уменьшается (разгрузка), стропы управления следует затянуть. Вот и вся премудрость!

Самое удачное, что при активном пилотировании не обязательно смотреть на парашют. Всю информацию об изменении режима полета вы получаете через нагрузку на крыле и клевантах. Держите постоянную нагрузку - вот золотое правило активного пилотирования.

Попадая в «болтанку», переводите парашют на наиболее безопасную скорость полета и следите за нагрузкой на крыле и клевантах. Парашют сам подсказывает, когда и на сколько нужно затянуть или отпустить стропы управления. Особое внимание стоит уделить симметричности нагрузки по размаху. Если на части крыла пропадает нагрузка, то эта часть может сложиться.

Плавное и красивое пилотирование получится не сразу. Тренируйтесь, анализируйте разные варианты возмущений. Хороший пилот должен понимать, что происходит с парашютом. Прислушивайтесь к собственным ощущениям, постарайтесь научиться чувствовать поведение парашюта. Постепенно в ваших действиях появится необходимый автоматизм, и вы сможете испытать потрясающее ощущение «слияния с парашютом». Верное крыло становится как бы частью тела и послушно отзывается на малейшее движение.

Методы повышения характеристик парашюта.

В этой главе мы разберем, от чего зависят характеристики парашюта, как они связаны с безопасностью полета и на сколько их можно улучшить.

Основные характеристики парашюта:

- Уровень безопасности.
- Аэродинамическое качество.
- Скорость снижения.
- Диапазон скоростей полета.
- Управляемость.
- Устойчивость.

Рассмотрим каждую из них отдельно:

1. *Уровень безопасности.* Показывает, насколько безопасно вы можете летать на данном парашюте. Улучшение летных характеристик обычно приводит к ухудшению безопасности. Так, парашюты для начинающих пилотов (класс «стандарт») выдерживают неумелые действия новичка, хорошо справляются с атмосферной турбулентностью, и выходят из всех опасных режимов самостоятельно. Спортивные «монстры» замечательно летают, но справиться с их горячим характером, могут только очень опытные пилоты, да и то не всегда.

2. *Аэродинамическое качество.* Зависит от аэродинамического совершенства аппарата. Показывает, во сколько раз подъемная сила больше силы сопротивления. Аппарат с высоким аэродинамическим качеством имеет меньшее снижение и летает дальше (рис. 27)

Естественное желание хорошего конструктора повысить качество своего детища. Как? Очень просто. Нужно уменьшать силу сопротивления.

Взлетаем! На крыле образуется подъемная сила и уравновешивает силу тяжести. К сожалению, при образовании подъемной силы появляется и сила сопротивления. Парашютист скользит по наклонной траектории и тратит потенциальную энергию высоты на компенсацию силы сопротивления. Чем больше сопротивление, тем круче траектория и короче полет. Из чего же складывается эта нехорошая сила?

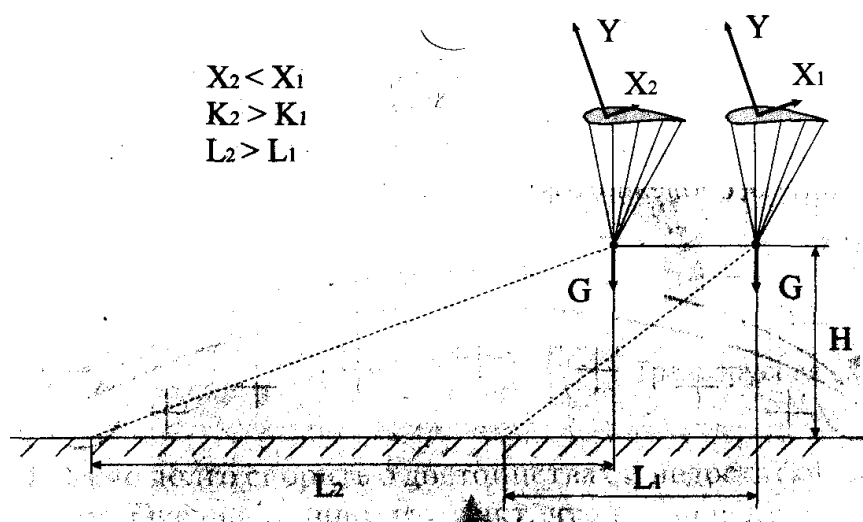


Рис.27. Аэродинамическое качество парашюта

$$X = X_{\text{профильное}} + X_{\text{индуктивное}} + X_{\text{строп}} + X_{\text{пилота}}$$

Профильное сопротивление образуется при обтекании профиля крыла и состоит из сопротивления трения и сопротивления давления.

Сопротивления давления возникает из-за разности давлений на профиле и в основном зависит от формы профиля.

Сопротивления трения сильно зависит от качества поверхности крыла и типа обтекания (турбулентное- ламинарное).

Не буду много писать о профильном сопротивлении, интересующиеся заглянут в учебник аэродинамики. Нам же важно знать, что для уменьшения профильного сопротивления нужно улучшать профиль и качество поверхности парашюта.

Современные спортивные парашюта имеют большое количество нервюр, что позволяет «вылизать» поверхность крыла. Как всегда «палка о двух концах». Чем больше нервюр, тем больше строп, материала, веса. Внутри парашюта хуже циркулирует воздух, и он медленнее наполняется после складываний.

Индуктивное сопротивление возникает из-за перетекания воздуха на концах крыла. В полете на верхней поверхности существует разрежение, на нижней сжатие. В результате воздух устремляется с нижней поверхности на верхнюю, и его энергия тратится на образование бесполезного вихря.

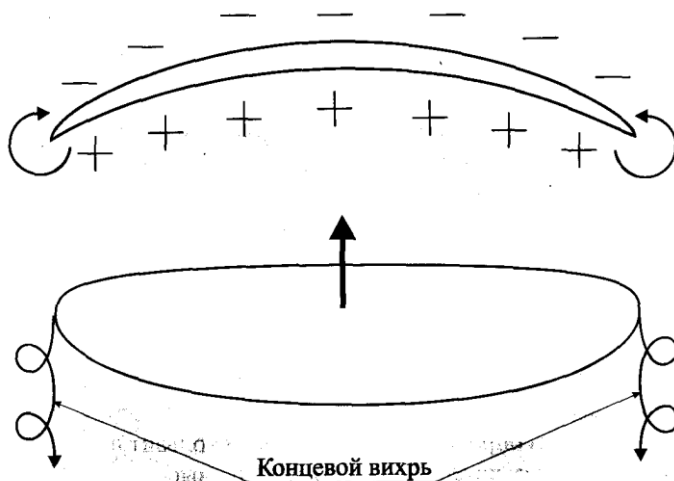


Рис.28. Спутная струя парашюта

Для уменьшения индуктивного сопротивления увеличивают удлинение крыла.

$$I = A^2/S,$$

где, A- длина (размах) крыла, S - площадь крыла

У прямоугольного крыла $I = A/B$

Современные спортивные парашюта имеют удлинение 6 - 6.5. Возможно это предел, так как рост удлинения сильно ухудшает безопасность парашюта, а неизбежное увеличение сопротивления конуса строп «съедает» выигрыш в индуктивном сопротивлении.

Сопротивление стропной системы возникает при обтекании строп и составляет до 40% общего сопротивления. Оно сильно уменьшает качество, особенно на высоких скоростях полета. Стремление уменьшить суммарную длину строп привело к появлению множества вариантов ветвления стропной системы и разнообразных конструкций с косыми и промежуточными нервюрами (рис. 29)

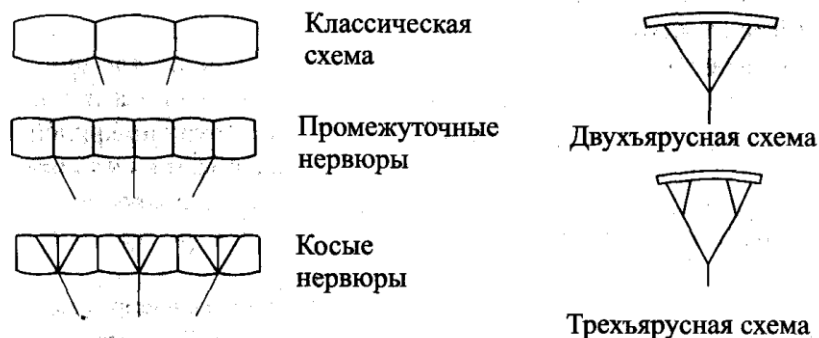


Рис.29. Уменьшение индуктивного сопротивления парашюта

Сопротивление пилота. Да, как это не обидно, но мы тоже ухудшаем аэродинамику. Поэтому не растопыривайте руки, ноги и уши в потоке, а примите удобообтекаемое каплевидное положение. Некоторые «крутые» спортсмены летают в обтягивающих костюмах и лежащих подвесках. Можете попробовать, но помните, что лежащее положение увеличивает момент инерции пилота и повышает вероятность закрутки строп при складывании.

Итак, мы рассмотрели все составляющие сопротивления и знаем, как можно увеличить качество парашюта. Следует помнить, что обычно это происходит за счет снижения уровня надежности парашюта, и «немереное» качество подразумевает весьма «умеренную» безопасность.

3. *Скорость снижения.* Ой, как хочется порой снижаться помедленнее. Формула снижения проста: приблизительно $V_{\text{сн}} = V/K$.

Очевидно, что чем выше качество, тем ниже скорость снижения. Правильный, высокотехнологичный, но сложный путь улучшения характеристик.

Есть и другой, более «простой» способ уменьшить скорость снижения. Конструктор «сдвигает» в сторону уменьшения диапазон скоростей полета. Этого легко добиться за счет увеличения площади или применения «тихоходных» аэродинамических профилей. На мой взгляд, ущербный путь, так как «бабочек сдувает в сильный ветер». В слабых условиях медленные парашюты производят неплохое впечатление, но в сильную погоду существенно проигрывают своим более тихоходным собратьям.

4. *Диапазон скоростей полета.* Продолжаем разговор о медленных и быстрых парашютах. Рассмотрим минимальную, максимальную и балансировочную скорость.

Минимальная скорость. (20...25 км/ч) Скорость, близкая к минимальной, используется при парении в слабых спокойных потоках. В этом случае легче парить на парашютах с меньшей минимальной скоростью.

Балансировочная (установочная) скорость. (32...40 км/ч). На этой скорости парашют летит при отпущенных стропах управления. Увеличение балансировочной скорости ограничено из-за сложностей с сертификацией безопасности при асимметричных складываниях. Так что, если ваш аппарат летает на 40 км/ч при классе безопасности «стандарт», то его конструктора и тест-пилоты здорово потрудились.

Максимальная скорость. (40...55 км/ч) В парашютном мире постоянно идет гонка за скорость. Скоростной парашют пробьет сильный ветер, быстро проскочит нисходящий поток и в итоге выиграет у более тихоходного соперника. Рост

скорости ограничивают все те же требования безопасности при складываниях. Конструкторы же борются с ограничениями: изобретают новые, более устойчивые профили, доводят аэродинамику до совершенства, и уже добились вполне устойчивого полета на 55 км/ч.

В заключение «скоростного разговора» скажу: «чем шире, тем лучше». Выбирайте аппарат с более широким диапазоном скоростей. Запас карман не тянет. Может и пригодятся скорости и истребителя и черепахи. При анализе характеристик советую скептически относиться к рекламе. Обычно на сертифицированном аппарате есть табличка фирмы, проводившей испытания, и верные данные в этой табличке не всегда совпадают с рекламой в буклетах. Лучше всего хорошенько погонять аппарат самому, дать полетать более опытным друзьям и сравнить его с аналогами. Все станет ясно...

5. *Управляемость*. Тот факт, что на хорошо управляемом аппарате приятно летать, не вызывает сомнений. Остается разобраться, что такое хорошая управляемость.

Стропами управления мы можем изменять скорость и направление полета. Важной характеристикой являются допустимый ход управления и диапазон изменения скорости. Чем шире скоростной диапазон, тем более лихие маневры может закладывать пилот без боязни вызвать срыв потока.

Ход управления на параплане класса «стандарт» должен быть больше 60 см. Очень удобно управлять парапланом с небольшим и плавно увеличивающимся усилием на стропе управления и «упором» усилия перед срывом. В этом случае существенный рост нагрузки на стропах управления предупреждает пилота: «осторожно, близок срыв потока».

Критериями проверки управляемости служит серия маневров. Пилот выполняет «горку», серию разворотов и спиралей разной интенсивности. Оцениваются время выполнения маневра, потеря высоты, крен и колебания при входе и выходе из виража. Хороший параплан легко входит в вираж и устойчиво стоит в нем, сохраняя постоянными радиус поворота и скорость полета. Крыло должно «следовать за клевантой», позволяя пропорционально и точно менять радиус виража. Недостатками считается как избыточное «заныривание» параплана в поворот так и «выныривание» из него.

При «заныривании» параплан стремится набрать скорость и перейти в глубокую спираль. Подобное поведение допустимо и даже удобно при лихом пилотировании, но не приемлемо при обработке потоков из-за существенных потерь высоты.

Отчего же зависит управляемость параплана? Из опыта конструирования и испытаний различных моделей парапланов можно сделать вывод о преимущественном влиянии трех факторов:

1. Закон затягивания клеванты. При сильном затягивании края крыла, параплан становится более поворотливым, но ухудшаются его срывные характеристики.

2. Аэродинамическая и геометрическая крутка крыла улучшает управляемость, но может уменьшить устойчивость к складываниям и поведению на опасных режимах полета.

3. Форма крыла при виде спереди (арочность) рис. 30

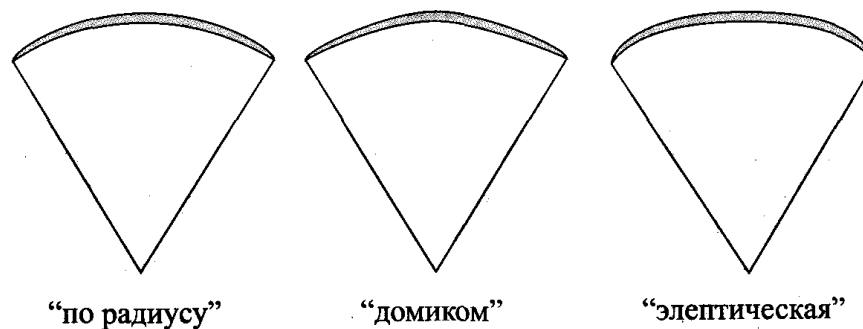


Рис.30. Арочность парашюта

Классическое распределение по радиусу имеет минимальные потери из-за кривизны крыла, но частенько не обеспечивает должной управляемости.

«Домик» показал прекрасные показатели входа в поворот, но парашюты с таким законом арочности плохо демпфируют раскачку по крену.

Эллиптический закон распределения арочности позволяет получить компромисс между первыми двумя вариантами. Именно он чаще всего и используется.

Сейчас существует множество парашютов и каждый имеет свой характер - управляемость. Пробуйте, летайте и постарайтесь определить какой характер вам по душе.

6. *Устойчивость*. Очень важная слагающая безопасности. Устойчивый парашют сложнее ввести в опасный режим и легче вывести.

Устойчивость выбранного режима полета обеспечивается низким положением центра тяжести парашюта. Этот тип устойчивости называют маятниковым и его основной характеристикой является скорость затухания колебаний (демпфирование). Улучшение демпфирования по тангажу (вперед-назад), в основном, осуществляется за счет аэродинамики крыла. Демпфирование по крену можно усилить, применив специальный закон арочности.

Устойчивость профиля крыла к складываниям можно улучшить, применяя специальные профили.

Как Вы видите, задача улучшения характеристик сложна и разнообразна, так как все они взаимосвязаны. Путь конструктора - поиск компромисса между противоречивыми требованиями летных характеристик и безопасности. И по тому, какие парашюты появляются на рынке, хочется верить в дальнейший прогресс безопасности.

Скорость и качество. Как их использовать?

Что такое поляра...

Как известно, эта незамысловатая кривая выражает зависимость между горизонтальной и вертикальной составляющими воздушной скорости. Пилоту-парашютисту важно знать несколько важнейших точек поляры. Мысленно пройдем по ним в порядке возрастания горизонтальной скорости:

- *Скорость срыва*. Это левая граница поляры, медленнее этой скорости парашют летать не может. В среднем 20...22 км/ч.

- *Минимальная скорость снижения.* Как правило, ей соответствует малая горизонтальная скорость, в среднем 25...29 км/ч.
- *Скорость максимального качества.* При этой скорости отношение V_x/V_y максимально. В среднем 28...35 км/ч.
- *Максимальная скорость.* Как правило, достигается при брошенных клевантах. В среднем 34...38 км/ч.
- *Максимальная скорость с акселератором.* Это правая граница поляры... если у Вас есть акселератор. В среднем от 42 до 55 км/ч.

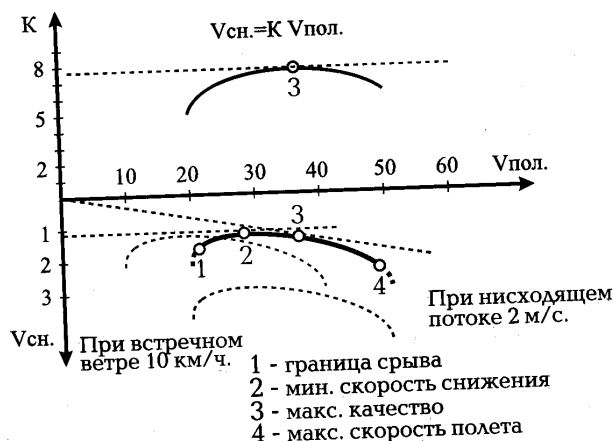


Рис.31. Поляра крыла

С помощью поляры (если она у Вас есть) можно легко определить качество Вашего парашюта на любом полетном режиме. Достаточно взять по графику V_x и V_y на интересующем Вас режиме и найти их отношение — это и будет искомая величина. Еще проще находится угол планирования в спокойном воздухе. Проведите из начала координат прямую до пересечения с полем — угол ее наклона будет равен углу наклона траектории Вашего крыла на этом режиме. А максимальному качеству соответствует *касательная к поляре*. Этот важный факт пригодится нам ниже, равно как и то, что поляра парашюта обычно *выпукла вверх*.

Качество парашюта сильно зависит от скорости. Небольшое на левой границе поляры, оно постепенно возрастает при увеличении скорости и в каком-то диапазоне скоростей остается почти постоянным. При дальнейшем увеличении скорости оно снова начинает падать, сначала неохотно, а потом все быстрее и быстрее. На акселераторном режиме качество может упасть очень сильно, и лишь немногие спортивные машины способны планировать на акселераторе более или менее полого. У современного парашюта среднего класса качество на предсрыве около четырех, на обычных режимах колеблется от 6 до 8 и на акселераторе снова падает примерно до «пятерки».

Из всего вышеизложенного следует вполне очевидный вывод: хотите спланировать подальше — держите скорость чуть ниже максимальной, равную скорости максимального качества. Качество будет наилучшим, а угол планирования — наименьшим. Но этот вывод справедлив только в штиль, когда скорость парашюта относительно воздуха (воздушная скорость) совпадает со скоростью относительно земли, то есть путевой скоростью.

А как быть, если есть ветер или потоки?

... И как ей пользоваться

Давайте задумаемся, как поведет себя путевая скорость парашюта при наличии ветра. Путевая скорость - это векторная сумма скорости ветра и воздушной скорости Вашего крыла. Значит, при полете *против ветра* путевая скорость = воздушная скорость *минус* скорость ветра, и наоборот, при полете *по ветру* путевая скорость = воздушная скорость *плюс* скорость ветра.. У планировщиков есть хороший метод анализа скоростей на этот случай: берем поляру и сдвигаем ее *вправо* на величину скорости ветра для анализа полета *по ветру* или *влево* - для анализа полета *против ветра*. В результате мы получим зависимость между горизонтальной и вертикальной составляющими путевой скорости. Очевидно, угол планирования можно определять с помощью такого графика так же, как и с помощью поляры, просто проводя из начала координат прямую до пересечения с графиком. Чем сильнее встречный ветер, тем более влево сдвигается наша кривая, тем круче становится угол планирования... И тут самое время вспомнить о том, что поляра парашюта выпукла вверх. При сдвиге поляры *влево* касательная к ней, проведенная из начала координат, сдвинется *вправо*, в область более скоростных полетных режимов. Значит, чтобы планировать против встречного ветра наиболее полого, надо отпустить клеванты полностью, и, может быть, даже придавить акселератор. Вывод достаточно прозрачный...

При планировании по ветру все происходит наоборот. Поляра сдвигается вправо, и прямая, выпущенная из начала координат, коснется нашей кривой левее, чем это было бы при штиле. Значит, при полете по ветру минимальный угол планирования достигается на слегка приторможенном крыле! Этот факт, только что строго доказанный нами, иногда приводит в смущение даже опытных пилотов - обычно считается, что при полете по ветру надо «становиться на качество», то-есть держать крыло на скоростном режиме, соответствующем максимальному аэродинамическому качеству.

Теперь, вооружившись тем же методом анализа, подумаем о планировании в восходящих или нисходящих потоках. В этом случае для получения зависимости между вертикальной и горизонтальной составляющими путевой скорости надо будет сдвигать поляру... конечно же, вверх или вниз! Вверх - для анализа полета в восходящем потоке, вниз - для полета в «нисходняке». Кривизна поляры в этом случае сработает, подтверждая известное правило: замедляемся в термике и ускоряемся в нисходящем потоке. Правда, это правило не всецело - не стоит забывать о том, что большой ход акселератора сильно ухудшает качество. Придавить акселератор в «нисходняке» достаточно легко, не забывайте об этом и постоянно следите за углом планирования. Если же Вы влетели в широкий мощный термик, то, притормозив крыло в разумных пределах, Вы сможете лететь как на самолете - угол наклона траектории может стать нулевым или даже положительным.

Наконец, с помощью такого метода можно искать оптимальные режимы планирования при наличии как ветра, так и вертикальных потоков; Чтобы не путаться с направлением сдвига графика - поляры, представьте, что парашют летит из начала координат - и все встанет на свои места. Подобный алгоритм, как правило, «зашит» в большинство современных профессиональных парашютных приборов, способных анализировать условия полета «на ходу» и предупреждать пилота о необходимости ускориться или, наоборот, замедлиться для получения минимального угла планирования. Мы же получим тот же результат с помощью ручки, линейки и листа бумаги!

Парадокс «ушей»

Итак, вспомним, от чего зависит воздушная скорость парашюта. Прежде всего она определяется нагрузкой на крыло, точнее, корнем из нее. При сложенных «ушах» площадь крыла падает - значит, воздушная скорость должна увеличиться. Но горизонтальная проекция воздушной скорости зависит еще и от качества крыла - чем ниже качество, тем круче угол планирования, тем меньше проекция воздушной скорости на горизонталь. Не стоит объяснять, что болтающиеся в потоке сложенные «уши» превращаются в обузу, уменьшая качество парашюта и увеличивая угол планирования. Значит, сложенные «уши» одновременно увеличивают горизонтальную проекцию воздушной скорости за счет увеличения самой этой скорости и уменьшают ее, поворачивая вектор воздушной скорости вниз. Какая тенденция победит?.. Увы, это зависит от модели парашюта и площади сложенных законцовок. В целом можно утверждать, что учебные парашюты на сложенных «ушах» чаще всего уменьшают свою горизонтальную воздушную скорость, а спортивные с большой вероятностью ее увеличивают. В некоторых случаях можно получить заметный прирост горизонтальной воздушной скорости, сложив «уши» и задавив акселератор. Но этот трюк проходит далеко не с каждым крылом. Владелец «Навигаторов», например, такой режим строго противопоказан, а счастливые хозяева «Грандов», наоборот, могут летать на акселераторе, сложив чуть ли не полкрыла. Если же Ваш парашют предназначен для начинающих, то знайте: *если Вас сдувает, то, сложив «уши», Вы только ухудшите свое положение* - вероятнее всего, крыло начнет очень резко «сыпаться» вниз, но и назад Вас понесет быстрее. Во всяком случае, проконсультируйтесь по скоростным режимам на «ушах» на фирме-производителе Вашего парашюта, а не у того пилота, который продал Вам его за сто баксов, утверждая, что это лучшее крыло в мире... И помните, что если Вам не хватает скорости, то лучше использовать акселератор.

Термик, термик, ты могуч...

Ну вот, мы вроде бы разобрались со скоростными режимами парашюта на планировании. Но полет почти никогда не состоит из одних только планирующих режимов, надо иногда набирать высоту. И вот тут-то у парашюта и появляются преимущества над всеми другими парителями, кроме, конечно, птиц...

Давайте вспомним, как устроен типичный термик. Самый быстрый подъем мы встречаем, в центре потока; по мере удаления от этого «ядра» скорость подъема воздуха постепенно падает, достигая нуля на границе потока и переходя затем в «минус». Если мы хотим набирать высоту как можно быстрее (а кто же этого не хочет?), то надо держаться как можно ближе к центру потока, то есть становиться в спираль с, по возможности, меньшим радиусом. Но тут мы наталкиваемся на серьезную проблему: чем уже спираль, тем больше получается скорость снижения. Попробуйте поспиралить в спокойном воздухе с прибором на колене - и Вы сами в этом убедитесь. Важно и то, что радиус спирали сильно зависит от воздушной скорости - чем сильнее мы затормозимся, тем меньше окажется радиус виража. Вот оно, главное преимущество парашюта! Если задаться скоростью снижения, скажем, в полтора метра в секунду (вполне достаточно для обработки термиков), то парашют впишется в радиус спирали около тридцати - сорока метров, дельтаплану потребуется уже примерно шестьдесят метров, а планер не уложится и в сотню!.. Значит, парашют может стоять в спирали вблизи самого центра потока, там, где секундный подъем максимален, и не «сыпаться» при этом вниз. За счет своей замечательной

способности крутить узкие спирали с малым снижением парашютист может десятками минут «выживать» в таких узких и слабых потоках, где дельтаплан или планер не продержался бы и нескольких секунд! Конечно, на переходах от потока к потоку парашютист не может сравниться со скоростными парителями, которые легко «пробивают» ветер, зато в потоках легкое маневренное крыло почти всегда оказывается в выигрыше...

- Важно!**
9. Подъемная сила крыла ЛА создается при обтекании крыла потоком воздуха, поэтому нельзя допускать потери скорости
 10. Скорость можно регулировать изменением угла атаки крыла - клевантами
 11. Не допускается доводить крыло до срыва потока за исключением момента касания земли при посадке
 12. Взлет и посадка осуществляются только против ветра
 13. Следует помнить, что парашютист, как и любой ЛА обладает инертностью
 14. Парашютист обладает большим запасом устойчивости, однако следует применять активное пилотирование для сохранения его устойчивости при внешних воздействиях атмосферы

5. Основы аэрологии

Для успешных и безопасных полетов, нам нужно научиться представлять, анализировать и использовать процессы, происходящие в приземных слоях воздуха. Атмосфера невидима, и основную информацию о ее приземном поведении мы получаем через движение воздуха - ветер. Основная причина возникновения ветра - разница давления в атмосфере. Воздух огромной рекой течет туда, где давление меньше. Отчего и почему появляется разница давления, вы узнаете из курса метеорологии. Пока же гораздо важнее разобраться в процессах, происходящих при обтекании потоком воздуха всевозможных препятствий.

Обтекание препятствий.

При встрече с препятствием, поток воздуха действует аналогично потоку воды в реке. Представьте камень в реке (холм на равнине). Вода (воздух) обтекает камень с разных сторон. Не сложно заметить, что по бокам поток разгоняется, а перед камнем вода немного приподнимается. Аналогично и с холмом.

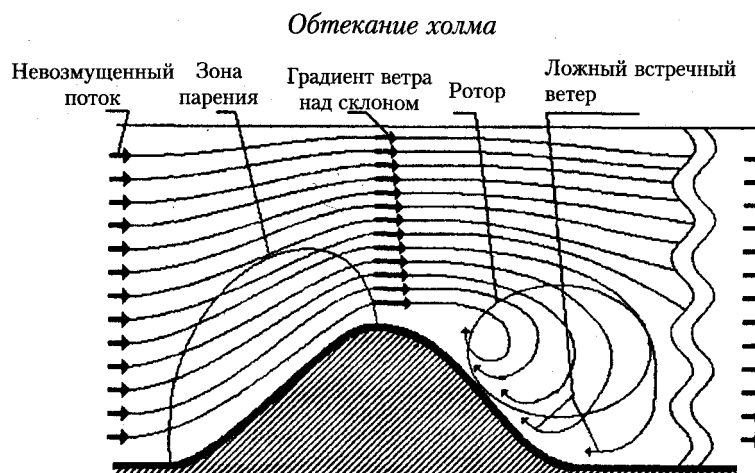


Рис.32. Обтекание холма

Встречаясь с ним, воздух течет вокруг и через верх холма. Движение воздуха вверх, параллельно склону, создает динамический восходящий поток. Его-то и используют для парения птицы и парапланеристы. Сила потока сильно зависит от крутизны, ширины и других параметров склона. Узкий острый холм практически не создает восходящего потока, а широкий вогнутый хребет работает как плотина и, перебрасывая через себя массу воздуха, создает отличный восходящий поток.

Мы выяснили, что самое приятное место для парапланериста - наветренный склон холма или хребта. Хорошее обычно граничит с плохим, и на противоположной, подветренной части холма, живет страшный подветренный ротор, способный сложить даже самый надежный параплан. Не летайте туда. Присмотритесь к завихрениям, происходящим в воде за камнем. Из-за своей инерции вода не может безотрывно обтекать камень, а отрываясь, бурлит, кипит, скручивается в вихри. Примерно тоже самое происходит за склоном. Вихревое, хаотическое движение воздуха называется турбулентностью, а устойчивые вихри за препятствиями величают роторами.

При наличии ветра, любое препятствие становится источником турбулентности. Чем острее, грубее кромки и края препятствия, тем сильнее турбулентность. Увеличение силы ветра в два раза увеличивает турбулентность

квадратично - в четыре раза. Представьте разницу между спокойной и медленной речкой и буйным горным потоком, и вы поймете, почему опасны полеты в сильный ветер.

Места усиления ветра.

При полетах очень полезно знать места, где ветер способен усиливаться. Прежде всего это вершины склонов и края холмов. Там поток воздуха разгоняется до максимальной скорости. Если в хребте есть сквозной проход (овраг), то воздух устремляется по нему, существенно ускоряясь. В узких ущельях срабатывает эффект Вентури, и низовой ветер может быть значительно сильнее верхового.

Градиент.

Это явление поджидает пилотов на посадке. Из-за торможения воздуха о землю, возникает разница в силе ветра у земли и на высоте. При фиксированном управлении парашютист стремится поддерживать постоянную скорость относительно воздуха, а градиент эту скорость уменьшает (посадка против ветра!) Поэтому при попадании в градиент парашютист разгоняется, а так как разгон происходит за счет потенциальной энергии высоты, то увеличивается и скорость снижения.

Особенно ярко эффект градиента проявляется в сильный ветер. На высоте 10 метров парашютист едва движется, а потом вдруг начинает разгоняться и интенсивно терять высоту. Новичков подобное поведение шокирует, и они совершают классическую ошибку - затягивают стропы управления. Понятно, что они пытаются сохранить постоянными скорость относительно земли и снижение. На какое-то время это удастся, а потом скорость и снижение вновь возрастают. Пилот опять тянет стропы управления. В итоге, перед посадкой, производить торможение и выравнивание уже нечем - ход клевант выбран до предела. Посадка получается жесткой и не эстетичной...



Рис.33. Градиент ветра

Градиент нужно проходить на максимально безопасной скорости полета (см. аэродинамику). Увеличение скорости снижения компенсируется более ранним и энергичным выравниванием. Земля приближается быстро - стропы тянутся резко, и наоборот.

- Важно!**
- 15. При полетах в динамике нельзя залетать в зону ротора
 - 16. На вершине холма скорость ветра выше скорости ветра на склоне

6. Правила расхождения в воздухе

Непременно наступит тот день, когда курсант-парапланерист перейдет от полетов планирующих к полетам в динамическом восходящем потоке (динамике). Особенность динамика такова, что большинство пилотов летает именно в нем. И рано или поздно Вы окажетесь в одном динамике с другими парапланами. Для обеспечения безопасности таких полетов необходимо знать и придерживаться правил расхождения в воздухе.

Общие моменты.

Прежде всего, хотелось бы отметить, что Ваше поведение в воздухе должно быть предсказуемым и спокойным. Не нужно постоянно менять направление движения, так Вы заставите нервничать остальных участников воздушного движения.

Также Вы должны крутить головой на все 360 градусов как в воздушном бою, чтобы в любой момент времени знать положение остальных парапланов, особенно при совершении того или иного маневра.

Абсолютным и неоспоримым преимуществом имеет летательный аппарат, терпящий бедствие. В случае с парапланом это может быть сложение параплана, в процессе устранения которого пилот не может в полной мере контролировать свой параплан.

При взлете.

В любом случае летательный аппарат, находящийся в воздухе, имеет преимущество перед тем, кто собирается взлететь. Если Вы готовитесь к взлету, Вы должны убедиться в том, что Вы не создадите помех летающим парапланам, и только потом взлетать.

Правила приоритета.

Соблюдайте правила приоритета - по умолчанию более скоростной и маневренный летательный аппарат должен уступить менее маневренному. Воздушные шары имеют преимущество перед всеми ЛА. Параплан имеет преимущество над дельтапланом, дельтаплан перед планером, планер перед легким самолетом, легкий самолет перед тяжелым.



Рис.34. Правила приоритета

Расхождение на встречных курсах.

При полете на встречных курсах на одной высоте, пилоты парашютов должны отвернуть вправо, и разойтись левыми консолями.



Рис.35. Расхождение на встречных курсах

Расхождение на пересекающихся курсах.

При полете на пересекающихся курсах, пилот парашюта, имеющего помеху справа должен отвернуть влево или вправо, исходя из своего положения и скорости.



Рис.36. Расхождение на пересекающихся курсах

Расхождение по высоте.

При полете одним и тем же маршрутом на разной высоте, пилот парашюта, находящийся внизу имеет приоритет над пилотом, летящим вверх. Верхний пилот должен уступить дорогу нижнему.



Рис.37. Расхождение по высоте

Обгон.

Обгон осуществляется справа.

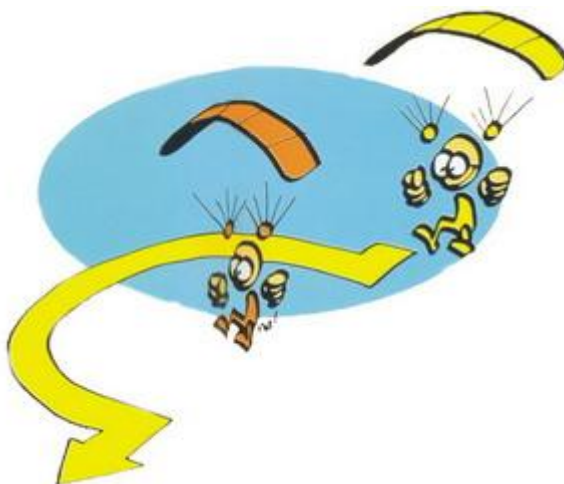


Рис.38. Обгон

Расхождение при полете у склона.

1. Встречное движение. Пилот парашюта, у которого склон находится справа имеет приоритет, в данном случае встречный пилот должен уступить отвернув вправо от склона.

2. Движение в одном направлении на одной высоте (склон справа).

Догоняющий пилот должен сделать пол-оборота и (или) изменить свое направление движения. Обгон справа у склона запрещен.

3. Движение в одном направлении на одной высоте (склон слева).

Догоняющий пилот может обгонять справа. Обгоняемый пилот парашюта имеет приоритет до конца фазы обгона, т.е. до тех пор, пока обгоняющий не займет положение спереди.

4. При полетах возле склона запрещено пересекать курс летящего вдоль него, так же запрещается идти встречным курсом в термическом потоке. В термическом потоке так же выполняется "правило первой спирали", т.е. все заходящие в поток становятся в спираль того же направления, что и первый пилот начавший подъем в этом потоке.



Рис.39. Расхождение при полете у склона

Расхождение при посадке.

Пилот, совершающий посадку или завершающий ее, имеет приоритет перед пилотом, находящимся в воздухе, или стоящим на земле. В случае если посадку совершают сразу несколько пилотов, приоритет имеет тот, кто находится ниже всех.

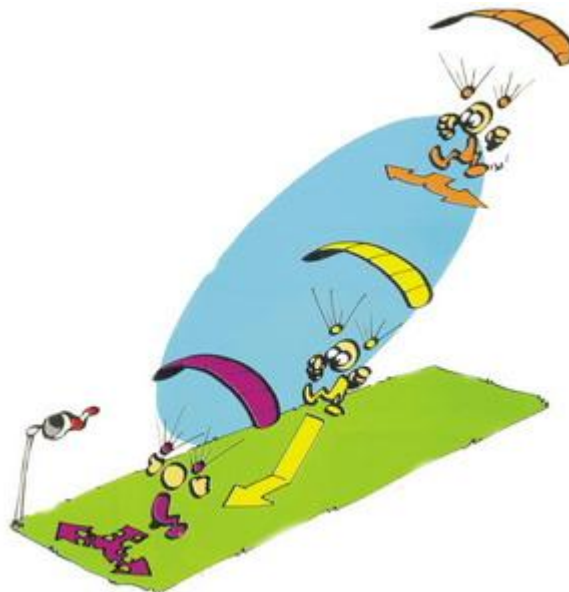


Рис.40. Расхождение при посадке

Правило «ЗД».

Всегда остается актуальным правило «ЗД» - «Дай Дураку Дорогу» - если Вы видите, что какой-либо параплан летит так, как будто кроме него в воздухе никого нет и не придерживается правил расхождения, лучше уступите ему – совершить лишний маневр лучше, чем потом разбираться, кто виноват в столкновении.

7. Заключение

На этом первая часть лекций завершена. В ней рассмотрены основные вопросы и тонкости, с которыми придется столкнуться курсанту-парапланеристу в ходе обучения – от первых полетов до полетов в динамике.

Тем не менее, данный курс лекций не является самоучителем. Помните, что самостоятельное обучение может быть опасным для Вас и Вашего здоровья! Полеты под руководством опытного инструктора не только сохраняют Ваше здоровье, но и принесут Вам множество радости и новых впечатлений!

Красивых и безопасных полетов.

Сабитов Р.Р.

Аэроклуб «Альтаир-Аэро»