

Основы аэродинамики

Подъемная сила

Купол создает подъемную силу двумя способами. Во-первых, подъемную силу создает сама форма крыла. Воздух движется по верхней кромке крыла быстрее, чем по нижней. Чем больше скорость воздуха, тем меньше его давление. Таким образом, над верхней кромкой образуется область пониженного давления, а под нижней — соответствующая ей область повышенного давления. В результате крыло «подтягивается» вверх — к области пониженного давления.

Отклонение воздуха — второй способ создания подъемной силы. Если отклонить воздух в каком либо направлении, обязательно возникнет сила реакции, направленная в противоположную сторону — этот принцип позволяет нам поворачивать, двигаться по горизонту и вообще совершать любые маневры в свободном падении. Соотношение подъемных сил за счет отклонения воздуха и за счет формы профиля достаточно сложное. Если бы отклонение было основной составляющей подъемной силы, то при вводе правой клеванты (задавлен правый край купола) воздух, отклоненный вниз, встречал бы противодействие и поднимал правую часть купола — купол бы заваливался влево и, соответственно, у нас получался бы левый поворот. На самом деле ввод правой клеванты уменьшает подъемную силу, потому что увеличивает сопротивление потоку с правой стороны. Правая кромка начинает двигаться медленнее, создает меньше подъемной силы — и купол поворачивает вправо.

В парашютном спорте основное применение подъемной силы, возникающей вследствие отклонения потока воздуха, приходится на момент выполнения подушки при приземлении. Когда вы делаете подушку, вы отклоняете воздух вниз, а противодействие заставляет купол двигаться вверх. Однако одновременно с этим увеличивается сопротивление воздуха, что замедляет горизонтальную скорость купола. Пилот под куполом (масса которого больше, чем у купола, а сопротивление — меньше) замедлится не так быстро, и сместится вперед. Это изменит угол атаки купола и резко увеличит силу отклонения воздуха — до тех пор, пока сохраняется горизонтальная составляющая скорости. Мы более подробно рассмотрим это использование силы отклонения воздуха, когда будем говорить об угле атаки, а также в главах о практике пилотирования.

Лобовое сопротивление

Другая основная сила, которая воздействует на купол — сопротивление воздуха. Эта сила имеет две составляющих — «профильное сопротивление» и «паразитное сопротивление» (сохранена терминология автора — прим. пер.). Первое, упрощенно говоря — результат трения воздуха о поверхность крыла. От этого страдают — в той или иной степени — крылья любой формы и конструкции (можно представить эту силу в форме подъемной силы, только направленной против движения крыла). Паразитное сопротивление — результат завихрений потока различными элементами крыла. Сопла создают турбулентцию. Швы, стропы, соединения строп, медуза, слайдер — даже вы, пилот! — все это добавляет сопротивление, но не создает подъемной силы. Парашюты никогда не были очень эффективными крыльями по сравнению с самолетами именно потому, что сама их конструкция подразумевает большое количество паразитного сопротивления.

Таким образом, и подъемная сила, и сопротивление — результат движения потока воздуха через профиль крыла. Поскольку эти аэродинамические силы вызваны взаимодействием

между потоком воздуха и крылом, увеличение скорости потока означает увеличение этих сил. Подъемная сила и сопротивление увеличиваются в геометрической прогрессии к скорости: увеличение скорости вдвое увеличивает подъемную силу в четыре раза. То же касается и сопротивления. Это означает, что скорость имеет критическое значение для поведения купола. Увеличение скорости означает — до определенного момента — увеличение подъемной силы и более острую реакцию на вводы. Это также означает увеличение сопротивления — именно поэтому в конструкции быстрых куполов применяются коллапсируемые медузы и слайдеры и более тонкие стропы.

Срыв потока

Обтекание воздушным потоком профиля крыла имеет еще одну интересную черту. Ее можно легко заметить, если посмотреть, как вода в ручье течет через камень. Жидкость стремится огибать объект по самой возможно плавной кривой. Можно (до определенной степени) изменить форму профиля, не нарушив при этом плавности течения потока. Точно также можно слегка изменить направление потока, не нарушая его плавности. Но если слишком быстро изменить либо направление потока, либо форму крыла — мы получим так называемый «срыв потока». Вместо того чтобы плавно огибать профиль, поток разбивается на завихрения и волны. Это очень важно знать пилоту купола — для него это означает, что любой резкий или радикальный маневр критически уменьшает потенциал подъемной силы купола. Самый распространенный и драматичный пример срыва потока в парашютном спорте — вход в режим свала на малой скорости. В следующих главах мы выясним, что этот феномен имеет множество других проявлений — к нему могут привести излишнее усилие на передних концах, резкое прокачивание клевант и радикальные вводы клевантами.

Тяга и вес

Для того чтобы крыло двигалось в воздухе и создавало подъемную силу, необходима некая сила, обеспечивающая это движение. Обычно эта сила называется «тягой». В случае с самолетом все просто — тягу обеспечивает работа двигателя. В случае с парашютом тяговую силу обеспечивает гравитация. На парашюте-крыле стропы каскада А (передняя кромка) короче, чем стропы каскада Д (задняя кромка) — за счет этого купол наклонен вперед. Воздух отклоняется в направлении задней кромки, придавая крылу горизонтальную скорость. Общая масса (ваш вес плюс вес системы) тянет крыло вниз. Крыло скользит как санки по склону. Насколько крутой этот «склон» — зависит от разницы каскадов строп.

Чем сильнее вес тянет вас вниз, тем больше тяга. Сумма масс, которая воздействует на парашют, называется «загрузкой купола» — важнейший термин для пилотирования парашюта. В Америке загрузка купола определяется по «десантному» («полному») весу — сумме веса парашютиста и его снаряжения — и выражается в фунтах на квадратный фут площади купола (в метрической системе для расчета загрузки нужно свой полный вес в кг разделить на 0,45 и результат разделить на площадь вашего купола — прим. пер.). Может показаться, что загрузка купола всегда постоянна. Для ровного горизонтального полета по прямой это так и есть.

Однако загрузка может измениться радикальным образом — во время выполнения поворота. Для примера представьте, что вы раскручиваете грузик на веревке. Чем быстрее крутится грузик, тем тяжелее он кажется. То же самое происходит с вами, когда вы тянете клеванту. Когда купол начинает поворачивать, тело пилота продолжает двигаться по прямой — пока натяжение строп не остановит его и не задаст ему новое направление.

Пока поворот продолжается, центробежная сила будет продолжать «выбрасывать» парашютиста из-под купола. Когда поворот окончен, подвешенная под куполом масса вернется на место. В момент, когда «вылетевшая» масса возвращается обратно под купол, парашют достигает максимальной скорости — как за счет увеличения загрузки, так и за счет перехода увеличившейся вертикальной скорости в горизонтальную.

Чем быстрее поворот, тем больше вес пилота под куполом. Его можно рассматривать как «явный» или «индуцированный» вес, который больше начального веса пилота и снаряжения. Стоит обратить внимание, что некоторые маневры позволяют — хоть и на очень короткое время — уменьшить загрузку. На многих куполах пилот может заложить поворот таким образом, чтобы «выбросить» тело вверх в то время, как купол начнет нырять вниз. В этом случае на какой-то момент натяжение на стропы исчезнет — т.е. на это мгновение загрузка будет близка к нулю.

До определенного предела увеличение веса (а значит — увеличение тяги) улучшают летные характеристики парашюта. Еще раз вспомним о примере с санками. Чем больше мы нагружаем санки, тем быстрее они будут катиться вниз — до тех пор, пока под слишком большим весом санки не начнут тонуть в снегу, или вовсе не развалятся. Без эффективной загрузки парашют становится вялым, в то время как увеличение загрузки добавляет скорости. Поскольку подъемная сила увеличивается в квадрате от скорости, крыло, летящее со скоростью 30 миль в час, имеет подъемную силу в четыре раза большую, чем крыло, летящее со скоростью 15 миль в час. Вот почему реактивные самолеты могут иметь такие же небольшие крылья, как маленькая «Сессна», и вот почему люди с определенным опытом могут прыгать на относительно малых куполах с загрузкой 1,4 и выше (некоторые экспериментируют с загрузками 2 и больше!). (сейчас уже загрузка 2 для современных куполов и опытных парашютистов даже не кажется чем-то сверхъестественным — прим. пер.) Улучшение летных характеристик, связанные с увеличением загрузки, выражаются не только в более высокой горизонтальной скорости, но и в скорости поворотов, мощности подушки и чувствительности купола. Но за все надо платить. Цена высокой загрузки будет рассмотрена позднее, когда от теории полета мы перейдет к парашютной реальности.

Центр массы, центр приложения подъемной силы

Центр приложения подъемной силы — это точка крыла, в которой в нашем воображении может быть сконцентрирована подъемная сила. Центр массы — точка, в которой сконцентрирован вес системы. Очевидно, что в спортивных парашютах центр массы (в виде пилота) находится намного ниже самого крыла. За счет смещения центра массы по отношению к центру приложения подъемной силы можно изменить тангаж (угол планирования — угол между продольной осью парашюта и плоскостью горизонта — прим. пер.) и угол атаки купола.

Угол атаки

Многие парашютисты считают, что угол атаки — это угол плоскости купола по отношению к земле. Совсем нет! Угол атаки — это угол между хордой крыла и направлением «вымпельного ветра» (см. ниже — прим. пер.). Самолет может изменять угол атаки при помощи рулей высоты хвостового оперения. Но у парашютиста их нет. Поэтому подушка — единственный способ изменить угол атаки. Когда вы задавливаете клеванты на подушке, вес под куполом (т. е. вы, пилот) «вылетает» вперед — потому что легкий парашют с увеличившимся сопротивлением замедлится быстрее, чем тяжелый

пилот с меньшим сопротивлением. В результате угол атаки на время увеличивается и создает больше подъемной силы за счет большего отклонения воздуха.

Надо заметить, что изменение угла атаки происходит за счет изменения скорости «вымпельного ветра» в момент, когда вес под куполом смещается вперед. Вводы клевантами, изменяющие форму купола, конечно также играют роль. Но если вес при этом не смещается вперед, то и угол атаки изменяется незначительно — за счет искривления купола только слегка увеличивается подъемная сила. Заход в режиме глубокого торможения во время прыжков на точность — типичный пример, когда для приземления используется только торможение клевантами без подушки.

При хорошей подушке плавное втягивание клевант заставляет купол лететь все медленнее и медленнее; пилот под куполом остается в положении, слегка смещенном вперед, поддерживая тем самым больший угол атаки и более значительное отклонение воздуха. Когда горизонтальная скорость купола придет к нулю, пилот вернется назад в нормальное положение. В этот момент не останется горизонтальной скорости, чтобы создать ни одну из составляющих подъемной силы, и начнет увеличиваться скорость вертикальная — до тех пор, пока купол снова не наберет горизонтальную скорость (или пока он не окажется на земле).

Как вы заметили, я употребляю выражение «вымпельный ветер» вместо привычного «относительный ветер» или «относительный поток». «Вымпельный ветер» — термин из парусного спорта. Он обозначает скорость ветра, которую физически ощущает парус во время движения (представляет собой сочетание ветра как такового (истинного ветра) и ветра, «индуцированного» собственным движением паруса — или, в нашем случае, парашюта — прим. пер.). Управляющий парусом часто забывает про вымпельный ветер и использует более привычные, но совершенно бесполезные ориентиры — например, изменения по горизонту. Но для аэродинамического профиля — будь то парус или купол — горизонта не существует, а есть только вымпельный ветер. Для того, чтобы яснее это понять, представьте себе «колокол» у купольщиков. Люди, которые видят эту фигуру впервые, часто удивляются, почему нижний купол остается наполненным. Но вымпельный ветер, который «чувствует» этот купол — такой-же, как и в полете в нормальном положении. То, что купол повернут верхней кромкой в землю, не означает, что он не будет наполняться или не будет иметь подъемной силы — просто при этом вектор подъемной силы направлен вниз.

Угол планирования

Теперь взглянем на угол планирования, который часто путают с углом атаки. Угол планирования — это угол, задаваемый регулировкой переднего и заднего рядов строп (нос выше или нос ниже). Он конструктивно заложен в парашют и зависит от длины строп. Его можно изменить за счет использования передних или задних свободных концов. Ввод передних концов изменяет угол планирования, а не угол атаки. При более остром угле купол будет снижаться быстрее, но вымпельный ветер останется постоянным (хотя на какой-то момент — в начале и по окончании ввода — его скорость изменится). Длина строп большинства куполов рассчитаны на такой угол планирования, чтобы купол каждые три метра по горизонтали терял один метр высоты: соотношение горизонтали к вертикали (т. н. «аэродинамическое качество крыла» — прим. пер.) — 3/1. Меньший угол планирования позволит парашюту лететь дальше, но за это придется расплачиваться уменьшением давления в секциях по сравнению с более «остронаклоненными» куполами, и в результате купол будет более подвержен турбулентности. Большой угол увеличивает

скорость снижения и наполненность, но теряет в горизонте, а также приводит к потере части мощности подушки.

Изгиб (кривизна профиля)

Когда вы вытягиваете клеванты, вы изменяете не только угол атаки, но и саму форму крыла. Изгиб определяется величиной искривления крыла по его верхней кромке. Сильно выгнутые крылья имеют больше подъемной силы на низких скоростях — но одновременно они создают большое профильное сопротивление. Если вы вытяните клеванты и оставите их внизу, такое изменение изгиба начнет влиять на летные характеристики парашюта. Скорость снижения снизится — равно как и горизонтальная скорость. Современные купола обычно берут большую часть энергии для подушки от изменения угла атаки — поэтому лучшая подушка будет получаться из режима полного планирования с отпущенными клевантами. Во время подушки высокая скорость снижения трансформируется в подъемную силу. Но в ситуации, когда вам нужно замедлить скорость снижения на продолжительное время, увеличение изгиба крыла за счет клевант является очень эффективным.

Заключение

Найдите минутку-другую и понаблюдайте за камнями на дне быстрого ручья. Вода плавно течет поверх гладких округлых камней — турбулентность возникает, только когда поток уже перетечет через камень. Плавная вода — это как разряженный воздух над верхней кромкой, который создает подъемную силу куполу. Бурная вода за камнем — это профильное сопротивление: след, который ваш купол оставляет в воздухе. Видно, как плоская, грубая передняя сторона камня создает паразитное сопротивление. А теперь взглянем на острый неровный камень. Он разрезает течение, вода бурлит — никакого плавного потока. Нет плавного потока — нет подъемной силы. Нет подъемной силы — нет контроля.

Высуньте ладонь в окно машины во время движения. Поставьте ее ребром к потоку ветра, найдите нейтральное положение. Теперь повертите ладонью, меняя ее угол — больше, меньше... Это — отклонение воздуха.

1. Я хочу приземлиться безопасно. С чего начать?

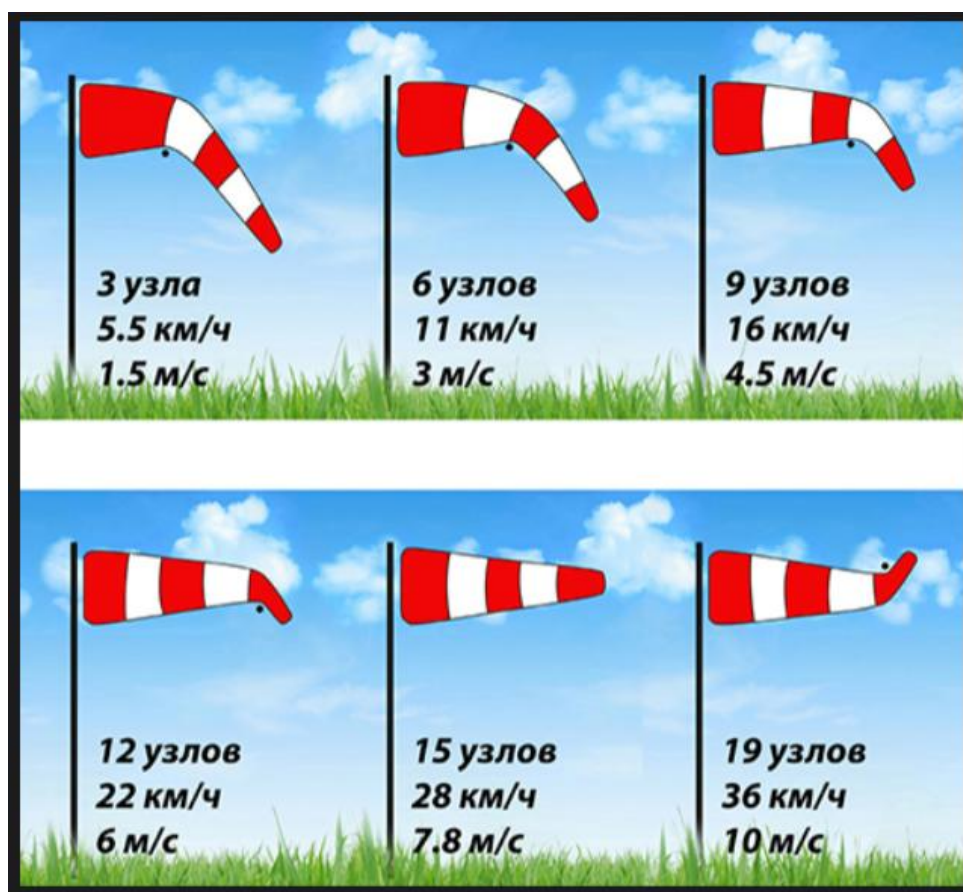
Начать подготовку к приземлению нужно еще на земле, перед посадкой в самолет.

- **Запомните направление ветра.** Это пригодится, если после раскрытия вы не сможете увидеть колдун из-за облачности или ошибки в выброске. В качестве ориентира лучше всего использовать солнце, например, «На малом сносе солнце должно светить в левый глаз».
- **Определите силу ветра и узнайте горизонтальную скорость своего купола.** Чем сильнее ветер, тем проще будет сделать подушку — горизонтальная скорость купола будет гаситься за счет скорости ветра. Сложнее всего приземляться в штиль. Силу ветра можно определить по колдуну, а скорость купола — узнать у старших товарищей. Обычно, горизонтальная скорость студенческих парашютов равна 8-10 м/с.
- **Узнайте у дежурного по площадке как строить заход:** через правое или левое плечо. Еще он может подсказать, где лучше начинать заход, на какие точки ориентироваться и чего опасаться.

- **Осмотрите площадку приземления**, запомните расположение препятствий, заборов, узнайте о запасных площадках. Обращайте внимание на неровность поверхности: ямки, камни, высокую траву и кусты.
- **Составьте примерный план приземления.** Понаблюдайте за другими парашютистами: посмотрите, как они строят заход, какое расстояние пролетают после крайнего разворота, с какими сложностями сталкиваются.

2. Как определить силу ветра по колдуну?

Используйте схему.



3. Что делать после открытия парашюта?

Сразу убедитесь, что купол сможет обеспечить безопасное снижение. Помимо стандартного «наполнен-устойчив-управляем», нужно проверить еще и подушку. На достаточной высоте плавно затяните клеванты — скорость должна уменьшиться, шум ветра стихнуть, а вы — почувствовать перемещение вперед. После этого медленно отпустите клеванты вверх на 15-20 см, чтобы избежать резкого клевка купола.

Если вдруг вы сомневаетесь в работе парашюта — не мешкайте: контроль высоты — отцепка — запаска.

4. Как строить заход на приземление?

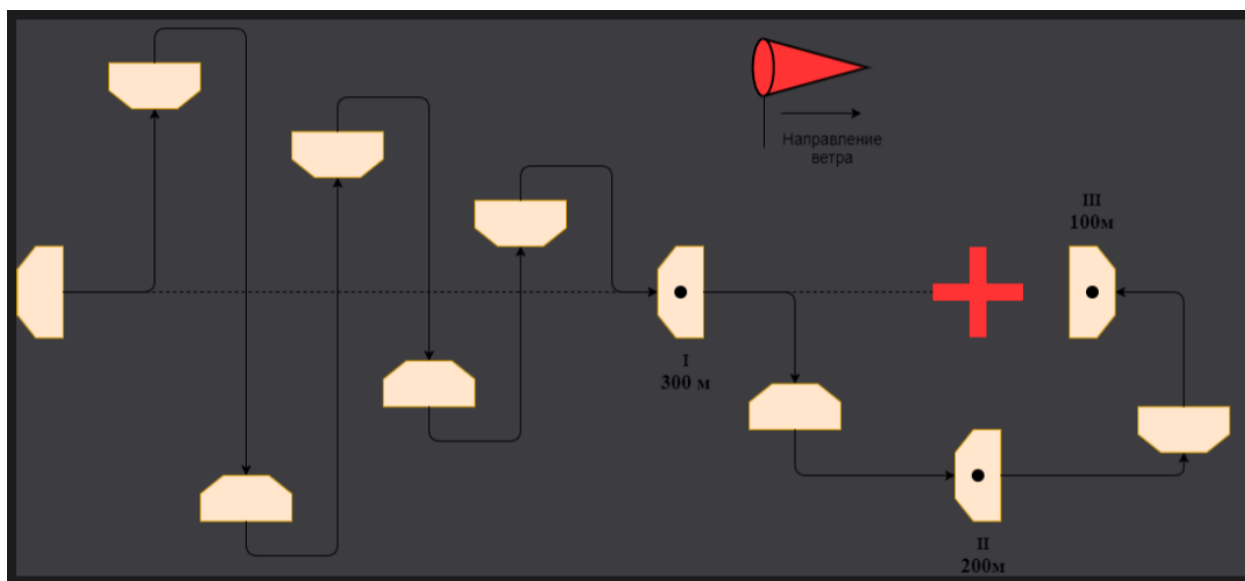
Мысленно разделите аэродром на 2 части линией, проходящей через точку приземления перпендикулярно направлению ветра. Заходить на дальнюю половину на высоте до 300 метров нельзя. Снижайтесь до этой высоты на первой половине аэродрома по змеевидной

траектории. Амплитуда змейки в начале спуска должна быть примерно по 10-12 секунд в каждую сторону.

С высоты 300 метров ориентируйтесь на контрольные точки:

1. Высота 300 метров, удаление от цели 300 метров — летите в створе ветра лицом к цели (по ветру)
2. Высота 200 метров, удаление от цели 200 метров — летите на траверзе цели (боком к цели)
3. Высота 100 метров, удаление от цели 100 метров — выполняйте крайний разворот, летите в створе ветра лицом к цели (против ветра)

Такое построение захода называется «коробочкой» и используется парашютистами, парашютерами и даже летчиками по всему миру.



Если прозевае высоту, скорректируйте точку приземления и проходы по коробочке.
Избегайте разворотов на 180°.

Как только вы выполните крайний разворот и встанете лицом к цели — разгоняйте купол и завершайте приземление подушкой.

5. И так страшно! Зачем еще разгонять купол?

Разгоняют купол перед приземлением для повышения его устойчивости. Когда парашют летит с максимальной скоростью, увеличивается давление между верхней и нижней оболочкой. В результате возрастает жесткость купола, что позволяет «пробивать» термические потоки и минимизировать влияние бокового ветра.

Учиться разгонять купол лучше всего на курсах по пилотированию под присмотром опытного инструктора.

6. Когда начинать делать подушку?

Переводите купол в средний режим на высоте 6 метров. Ориентиром могут служить верхушки деревьев. Начинайте дотягивать подушку до конца на высоте 1,5 метра. Все движения делайте плавно.

Если начали подушку немного раньше — уменьшите темп затягивания клевант — это даст вам возможность подождать до нужной высоты и уже там закончить процесс выравнивания и переход в горизонтальный полет.

Если проворонили момент подушки — задавите клеванты чуть резче — так вы моментально выведете купол в горизонт и спасете приземление.

Важно: если начали делать подушку слишком высоко ни в коем случае не бросайте клеванты! Иначе купол выполнит резкий «клевок», и вы на большой скорости врежетесь в землю. Результаты будут самыми плачевными — от сильных ушибов и растяжений до тяжелых переломов и разрывов связок.

7. Что делать, если порывом ветра меня заваливает набок?

В первую очередь нужно понять, что никакого порыва ветра нет. Скорее всего вы переводите купол в средний режим неравномерно.

Сначала проверьте руки — они должны быть на одной высоте. Начинающим парашютистам часто советуют держать руки перед собой при выполнении подушки — так вы будете видеть и контролировать их.

Если с руками все в порядке — проверьте положение тела в подвесной системе, убедитесь, что нет перекоса ножных обхватов.

Затем компенсировать крен будет несложно: если уводит вправо — тяните левую клеванту и возвращайтесь на свое место; если уводит влево — тяните правую. Не делайте резких движений.

8. Лечу в какую-то стену! Как спастись?

Выставьте ноги вперед и максимально напрягите. Ноги должны быть вместе, ступни параллельно препятствию. Встречайте стену как землю — сделайте подушку и постарайтесь погасить вертикальную и горизонтальную скорости купола.

Точно также нужно приземляться и на другие препятствия: заборы, деревья, крыши и любые неровности поверхности.

Если вдруг влетите в окно — не забудьте поздороваться.

9. Выберу опытного парашютиста и полечу за ним. Почему так не делают другие?

Идея хорошая, но трудно реализуемая: опытные парашютисты обычно летают на скоростных куполах с высокой загрузкой, а студенты и начинающие — на больших прямоугольных парашютах с загрузкой меньше единички. Поэтому повторить траекторию движения выбранного «эталона» скорее всего не получится.

Есть и еще одна опасность в полете за чужим куполом — попадание в **спутный след**. Летящий парашют оставляет за собой турбулентный след, похожий на след позади лодки. Он действует на протяжении примерно 15 метров позади купола и только на большом расстоянии затухает и становится незначительным. Купол, попавший в спутный след, может схлопнуться, и тогда вы упадете с большой высоты, будучи совершенно к этому неготовым.

Но следить за приземлением старших товарищей полезно — посмотрите, как они строят коробочку, под каким углом приземляются. Только не увлекайтесь и не забывайте о собственном парашюте и безопасности.