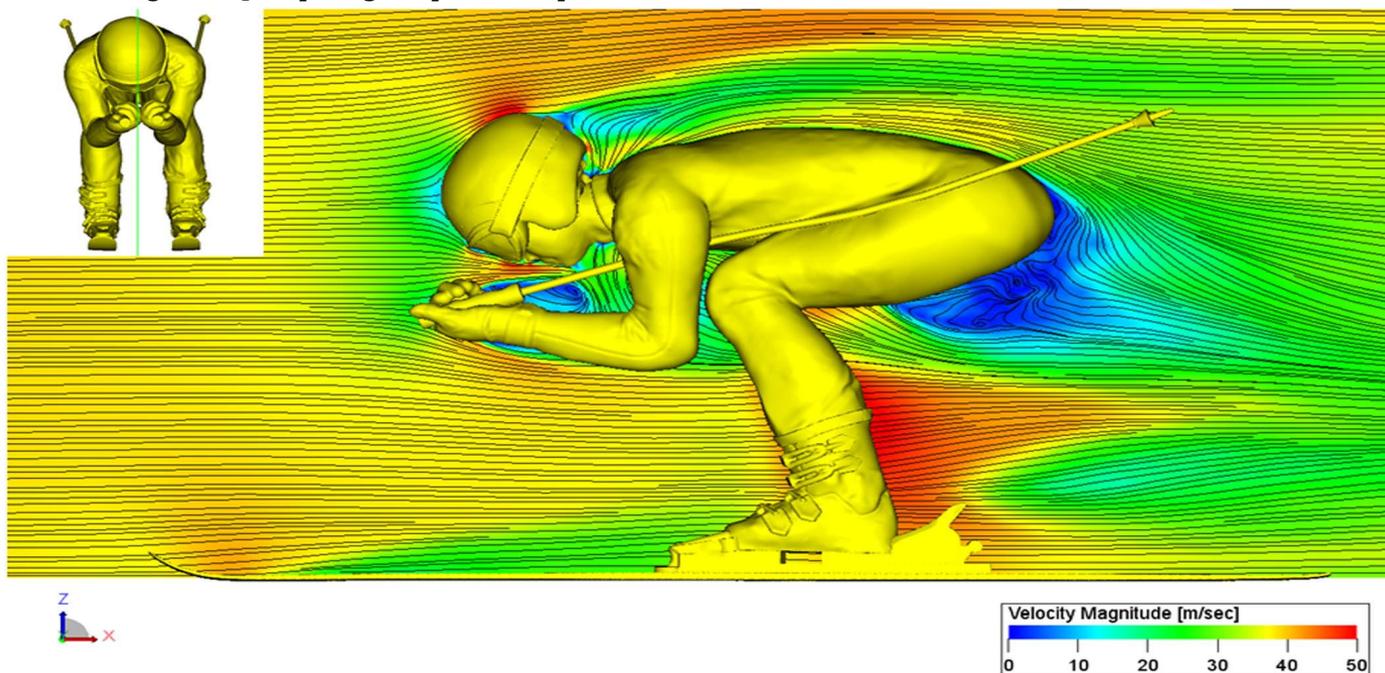


Лекция № 4

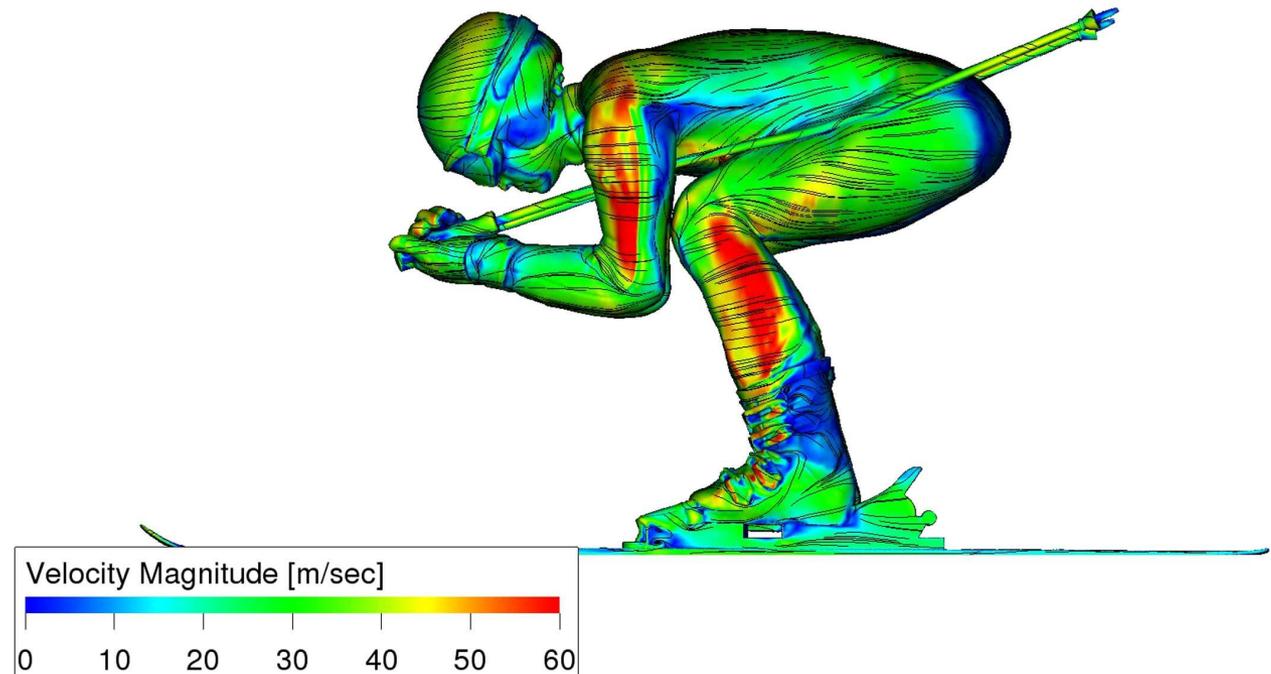
**Аэродинамике в
горнолыжном спорте**

В любом виде спорта атлет старается показать максимальный результат. Передвигается он или в воздушной или в водной среде. Окружающая среда оказывает сопротивление движению. Это — физика. Поэтому любыми возможными средствами атлеты пытаются снизить это тормозящее воздействие. Этому помогают современные материалы, из которых изготавливается современная технологичная спортивная одежда. Но главное — необходимо улучшать аэро- или гидродинамические свойства за счёт технических навыков, которые помогают принимать наиболее обтекаемую форму при передвижении на

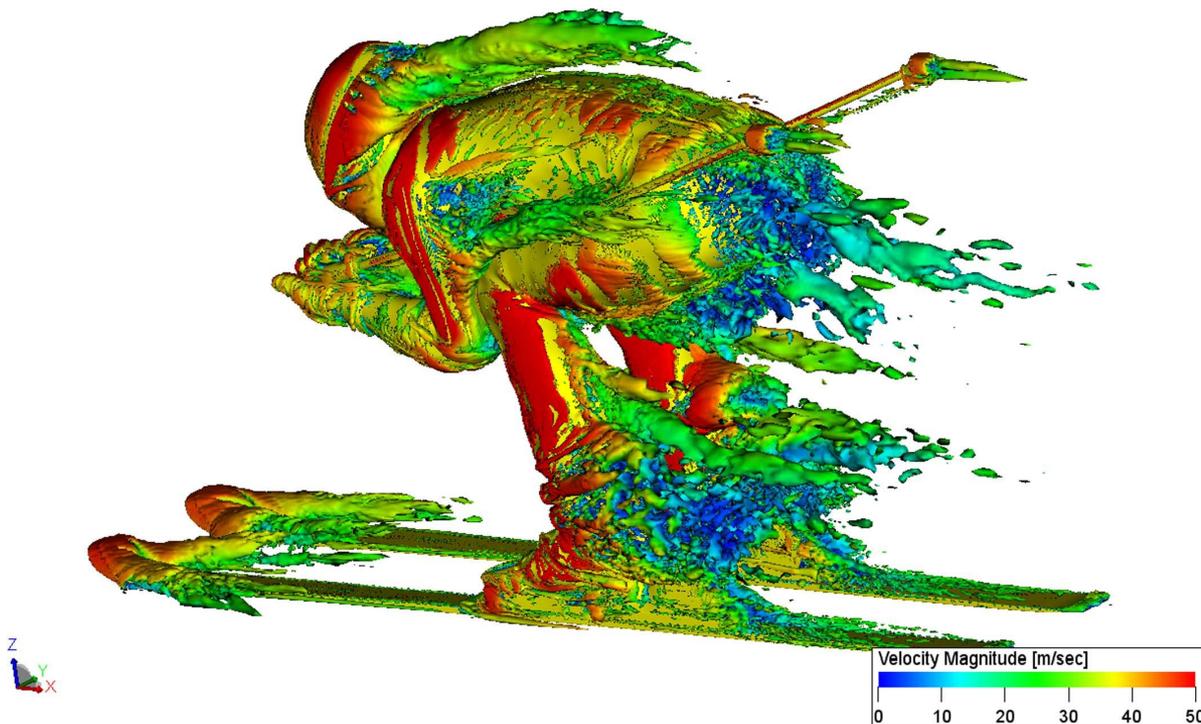


Минимизировать сопротивление воздуха и поверхности — ключевой способ современной борьбы спортсменов за время в скоростных видах спорта.

Ученые из японского университета Цукубы использовали аэродинамическую трубу, чтобы исследовать характер обтекания воздухом мчащихся с горы лыжников.

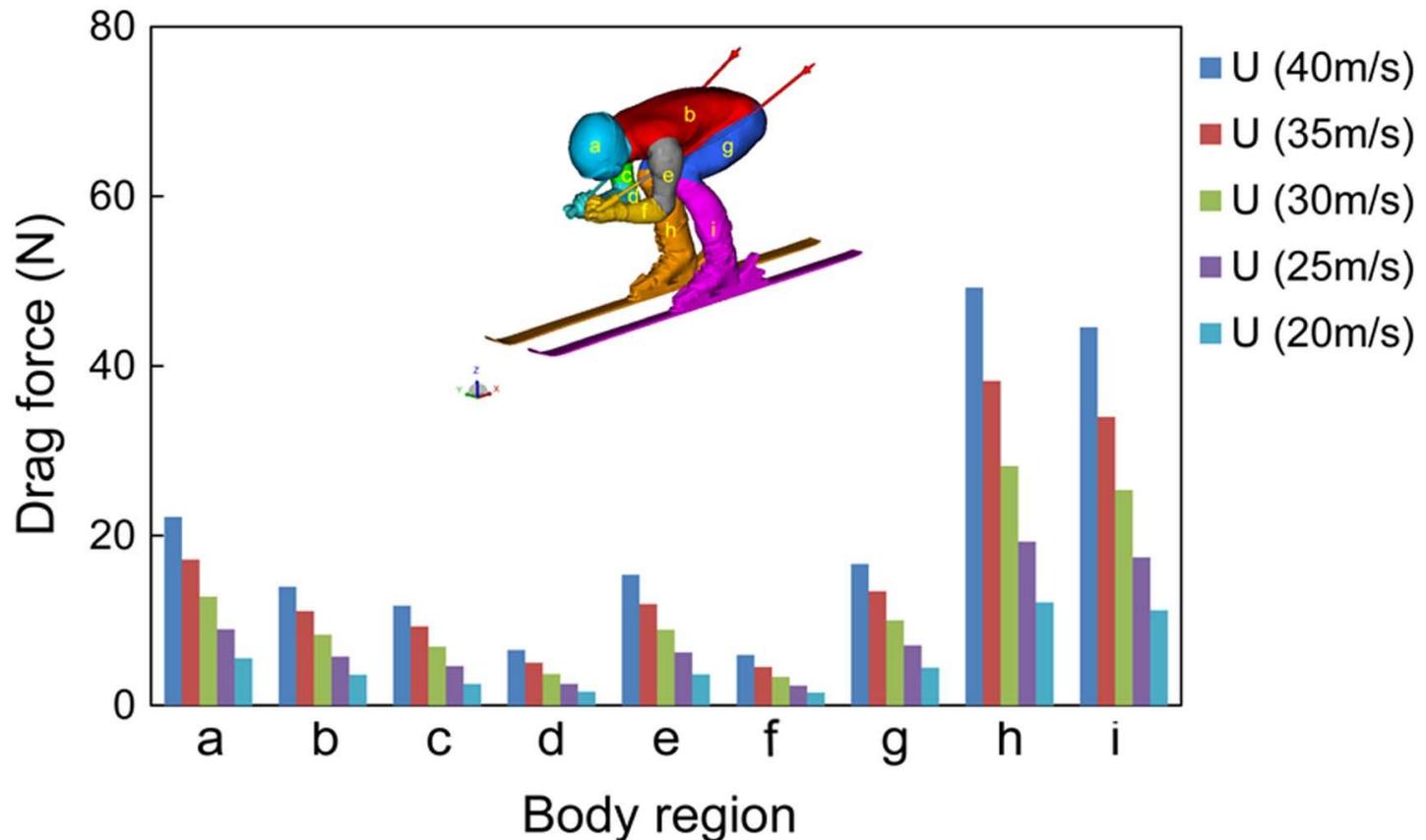


В слаломе скорость спортсменов достигает лишь порядка 30 км/ч, то в таких дисциплинах, как скоростной спуск, атлет может разогнаться до 120 км/ч и более. На таких скоростях сила сопротивления воздуха становится значительной, и любое ее снижение, будь то за счет применения особых материалов экипировки или в позе спортсмена, приводит к выигрышу критичных для победы долей секунд.



В своих экспериментах японские физики использовали правдоподобный макет горнолыжника с палками, лыжами, шлемом и ботинками.

Эксперименты по обтеканию воздухом проводились в аэродинамической трубе размером 1,5 на 1,5 м, имеющейся в Университете Цукубы. С ее помощью ученые смогли измерить силу сопротивления воздуха на разных скоростях и выяснили, что она равна 27 Ньютонам при скорости 15 м/с и значительно растет (до 186 Ньютонов) при скорости 40 м/с.



«Визуализация поля скоростей воздуха показала, что основными источниками сопротивления в сгруппированной позиции лыжника являются:

голова

плечи

верхняя часть ноги и бедро (включая ягодицы)

Поэтому позиции, в которых трение уменьшается в этих областях, обеспечат технологическое преимущество при спуске», — считают авторы работы. По их словам, именно на эти части тела дизайнерам экипировки надо обратить пристальное внимание.

Достоверность этих выводов была подтверждена высокой корреляцией между полученными результатами в аэродинамической трубе с компьютерными симуляциями. Ученые установили, что в процессе спуска лыжника на него действуют и вертикальные силы, в основном — на торс и бедра. **«При этом на торс сила действует вверх, на бедра — вниз», — говорится в статье.**

«Теперь зная, какие части тела больше всего влияют на спуск лыжника, мы можем проектировать снаряжение так, чтобы уменьшать сопротивление воздуха в этих местах, и советовать, как менять позу спортсмена для увеличения скорости», — говорится в выводах.

В последующих работах ученые намерены уделить больше внимания влиянию подъемной силы и движений лыжников в различных позах.

Источник информации: T.Asai, S.Hong, K.Ijuin (2016), П. Котляр (2017)

<https://triskirun.ru/11454-nemnogo-ob-aero-dinamike-v-gornolyzhnom-sporte-i-ne-tolko>

УДК 796.925

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕХНИКИ ПРЫЖКА С ТРАМПЛИНА В ФАЗАХ ОТТАЛКИВАНИЯ И ПОЛЕТА

Вл.В. Зебзеев, О.С. Зданович, Вик.В. Зебзеев¹

¹ ФГБОУ ВО «Чайковский государственный институт физической культуры», Чайковский
Для связи с авторами: E-mail: zebzeev85@mail.ru

Аннотация:

Цель исследования заключалась в изучении биомеханических и аэродинамических особенностей техники прыжка в фазах отталкивания и полета. Установлено, что большинство иностранных авторов в фазе отталкивания выделяют контактную и бесконтактную части, а для более эффективного анализа фазы полета предлагают исследовать кинематические показатели в ее начале, середине и в конце.

В статье представлены угловые характеристики техники отталкивания и полета, которым должен соответствовать прыгун во время прыжка на лыжах с трамплина.

Рассмотрены вопросы, связанные с позитивными и негативными положениями тела спортсмена во время полета, возникающими вследствие расположения аэродинамического центра и центра тяжести по отношению друг к другу.

Результаты исследования могут быть использованы тренерами-преподавателями при обучении юных прыгунов на лыжах с трамплина технике отталкивания и полета.

Ключевые слова: техника, фазы отталкивания и полета, биомеханические и аэродинамические особенности, прыжки на лыжах с трамплина, лыжное двоеборье.

<http://lesgaft-notes.spb.ru/files/10-140-2016/p61-65.pdf>

Другим важным фактором, влияющим на эффективность отталкивания, является точное соответствие лыжника-прыгуна в момент кон-

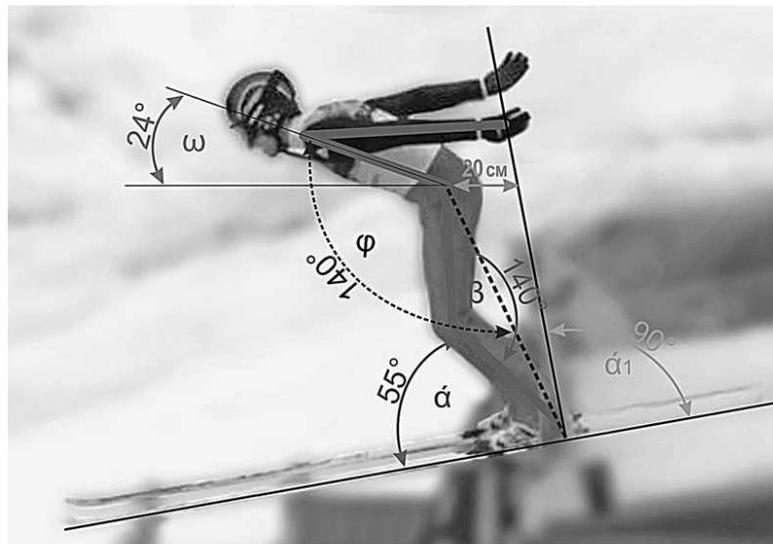


Рисунок 1 – Кинематические характеристики контактной фазы отталкивания в исполнении С. Амманна на ЗОИ в Ванкувере (2010 г.) (по материалам Б. Йоста, 2014 г.)

Другим важным фактором, влияющим на эффективность отталкивания, является точное соответствие лыжника-прыгуна в момент кон-

тактной фазы следующим угловым характеристикам (см. рисунок 1):

- угол, образованный прямой линией, проходящей через центры голеностопного и коленного суставов, и линией лыж (α) – 55°. Данный угол характеризует сгибание в голеностопном суставе;
- угол, образованный перпендикулярной линией, проходящей через центр голеностопного сустава, и линией лыж (α_1) – 90°. Позволяет определить расстояние между центром тазобедренного сустава и перпендикуляром (в идеале должно быть 20 см), по которому можно судить о своевременности отталкивания;
- угол, образованный прямой линией, проходящей через центры тазобедренного и коленного суставов, а также линией через центры коленного и голеностопного суставов (β) – 140°. Данный угол характеризует степень сгибания в коленном суставе;
- угол, образованный прямой линией, проходящей через центры плечевого и тазобедренного суставов, и прямой линией, проходящей через центры тазобедренного и голеностопного суставов (φ) – 140°;
- угол, образованный прямой линией, проходящей через центры плечевого и тазобедренного суставов, и горизонтальной линией (ω) – 24°. Данный угол характеризует степень

Фаза контактного отталкивания завершается только тогда, когда лыжи спортсмена полностью перестают касаться стола отрыва, после чего начинается бесконтактная фаза. По мне-

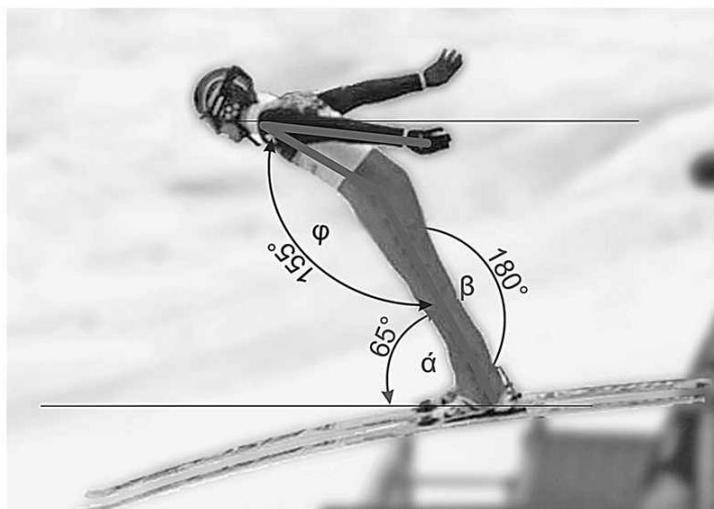


Рисунок 2 – Кинематические характеристики завершения контактной фазы отталкивания на расстоянии 1 м от края стола отрыва в исполнении С. Амманна на ЗОИ в Ванкувере (2010 г.) (по материалам Б. Йоста, 2014 г.)

этому в это положение лыжника-прыгуна в бесконтактной фазе отталкивания на расстоянии 1 м от стола отрыва должно соответствовать следующим угловым характеристикам (см. рисунок 2):

- угол, образованный прямой линией, проходящей через центры коленного и голеностопного суставов, и горизонтальной линией (α) – 65° ,
- угол, образованный прямой линией, проходящей через центры тазобедренного и коленного суставов, а также прямой линией, проходящей через центры коленного и голеностопного суставов (β) – 180° ,
- угол, образованный прямой линией, проходящей через центры плечевого и тазобедренного суставов, и прямой линией, проходящей через центры тазобедренного и коленного суставов (φ) – 155° [3].

Бесконтактная фаза отталкивания завершается переходом спортсмена к наиболее оптимальной аэродинамической позе полета. [7].

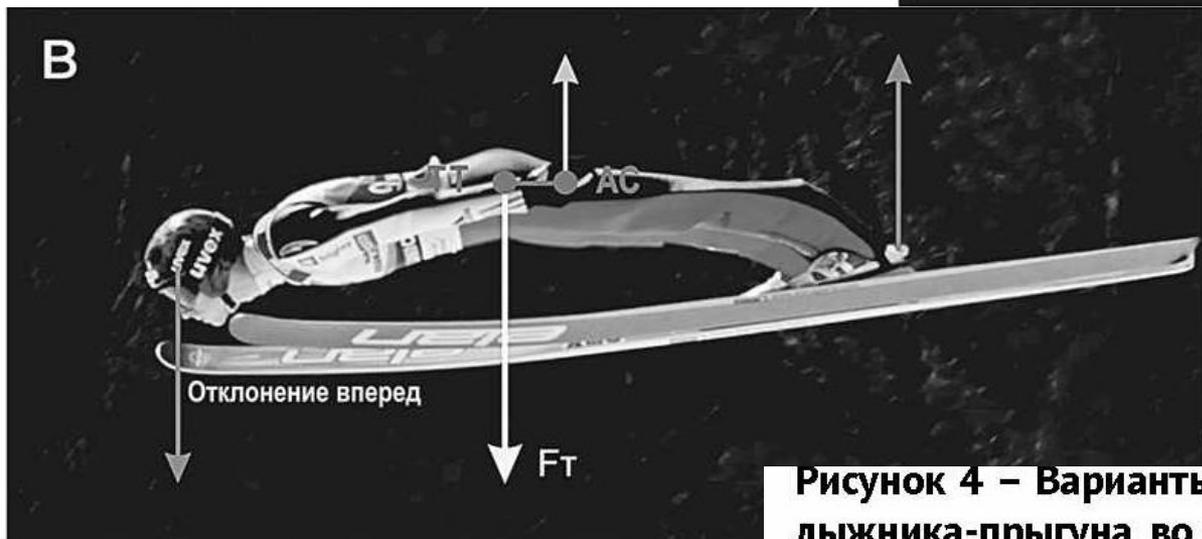
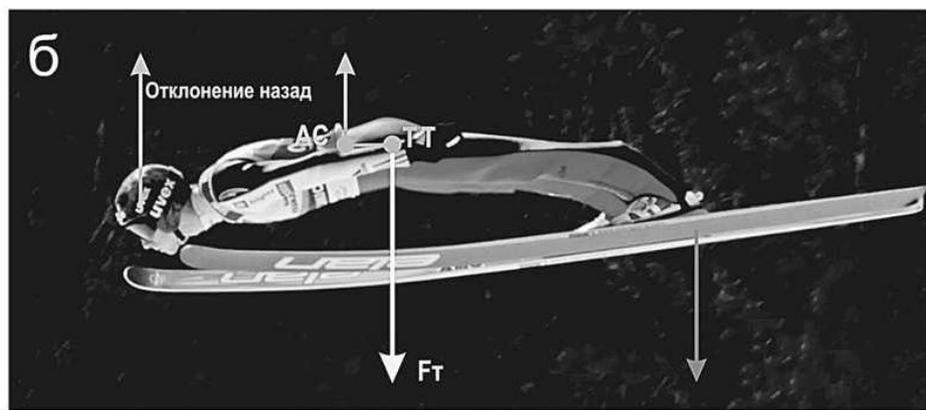
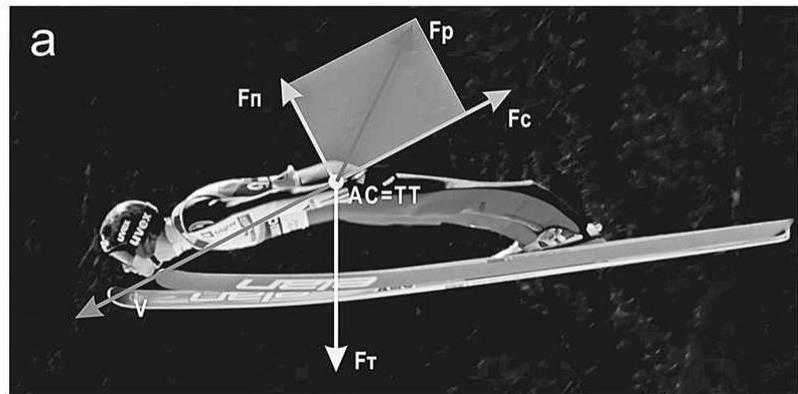


Рисунок 4 – Варианты аэродинамических положений лыжника-прыгуна во время фазы полета. На рис. 4а показано стабильное положение спортсмена, на рис. 4б – позитивное аэродинамическое положение, на рис. 4в – негативное аэродинамическое положение (по материалам Б. Йоста, 2014 г.)

Примечание: V – скорость полета, F_t – сила тяжести, F_p – подъемная сила, F_c – сила сопротивления, F_r – равнодействующая сила, TT – центр тяжести, AC – аэродинамический центр

Весь прыжок можно разбить на четыре фазы: взлет, группировку, собственно полет и подготовку к приземлению. Первая фаза длится примерно 0.3 с, вторая - 0.8-0.9 с, третья - 0.3-0.6 с. Все остальное время поза лыжника практически не меняется.

Таким образом, в основной фазе полет прыгуна близок к поступательному движению, что делает естественным предположение о замене рассмотрения прыгуна рассмотрением движения его центра масс.

На прыгуна в полете действуют две основные силы: аэродинамическая сила и сила тяжести. Аэродинамическая сила раскладывается на две составляющие - подъемную силу и силу лобового сопротивления и, исходя из второго закона Ньютона, сила лобового сопротивления направлена по касательной к траектории противоположно скорости и пропорциональна квадрату модуля скорости: $|\overline{F}_r| = k \cdot v^2$, а подъемная сила направлена по

нормали к траектории и по модулю равна: $|\overline{F}_p| = f \cdot k \cdot v^2$, где коэффициент $f = \frac{F_p}{F_r}$.

Коэффициент k определяется предельной скоростью системы лыжник-лыжи $v_{пр}$: $k = \frac{mg}{v_{пр}^2}$.

Для силы лобового сопротивления и подъемной силы существуют выражения:

$$F_r = \frac{1}{2} \rho C_r S v^2, \quad F_p = \frac{1}{2} \rho C_n S v^2, \text{ где } \rho - \text{плотность воздуха, } C_r - \text{коэффициент силы лобового}$$

сопротивления, C_n - коэффициент подъемной силы, S - площадь сечения системы прыгун-лыжи в плоскости, перпендикулярной набегающему потоку воздуха. Если считать, что лыжник и лыжи находятся в одной плоскости, то площадь миделя при заданном угле атаки φ определяется следующим образом: $S = S_0 \sin \varphi$, где S_0 - площадь миделя при угле атаки 90°. Угол атаки складывается из угла θ между горизонталью и скоростью и угла γ между горизонталью и лыжами

Задача решается в терминах скорость-давление. Из рисунка 1 видно, что во входном и в выходном участках области скорость ветра строго горизонтальна, а в районе горы имеет вертикальную составляющую, так как воздушный поток огибает гору. Мы заметили, что

давление над горой ниже, чем под горой, что и является причиной восходящего (огибающего гору) тока воздуха

Воздух в пограничном слое вблизи земли считается вязкой несжимаемой жидкостью. Используя экспериментальные данные по среднесезонным и среднегодовым скоростям ветра на разных высотах заданных в виде нечетких чисел, у которых функция принадлежности имеет вероятностный смысл, а носитель измеряется в м/с. Рассматриваем достаточно малые скорости, так как при сильном ветре прыжки запрещены. Малость скоростей позволяет пренебречь конвективными членами и считать течение ламинарным. Силой тяжести на данном этапе мы также пренебрегаем.

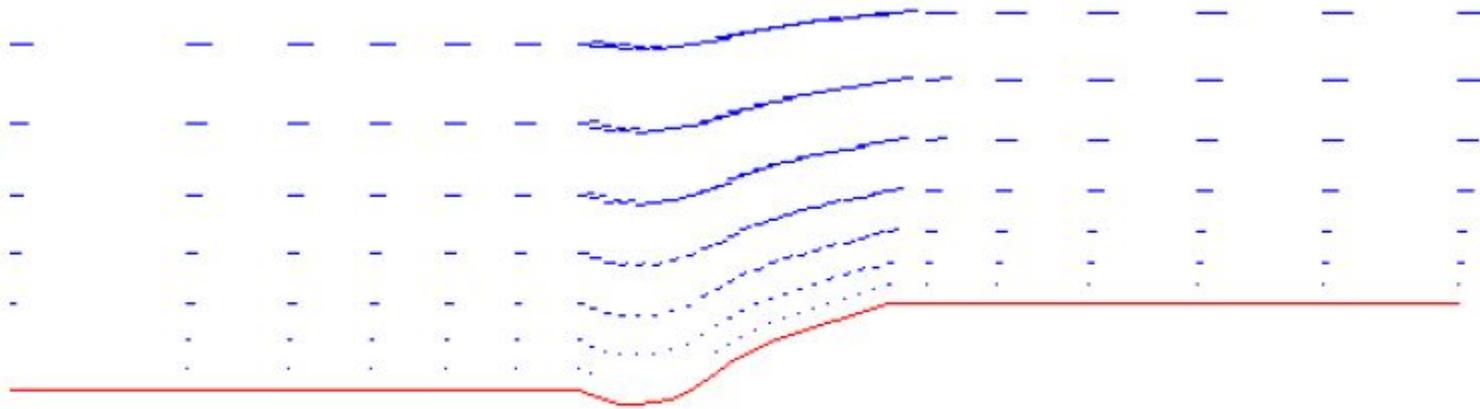


Рис.1. Поле скоростей ветра в окрестностях горы.

Лыжники-гонщики также должны обращать больше внимания на аэродинамику, хотя скорости и не такие высокие, как у горнолыжников. Уверен, каждый проверял это на себе неоднократно. Стоит на спуске просто выпрямиться (раскрыться) и вы сразу ощущаете огромную тормозящую силу. Проходить спуски в низкой стойке, не раскрываясь — это необходимо тренировать постоянно. Отыгрывать потерянные на каждом спуске 3-5 секунд — это дорогого стоит. И это, наверняка, выключит вас из борьбы за призовые места.

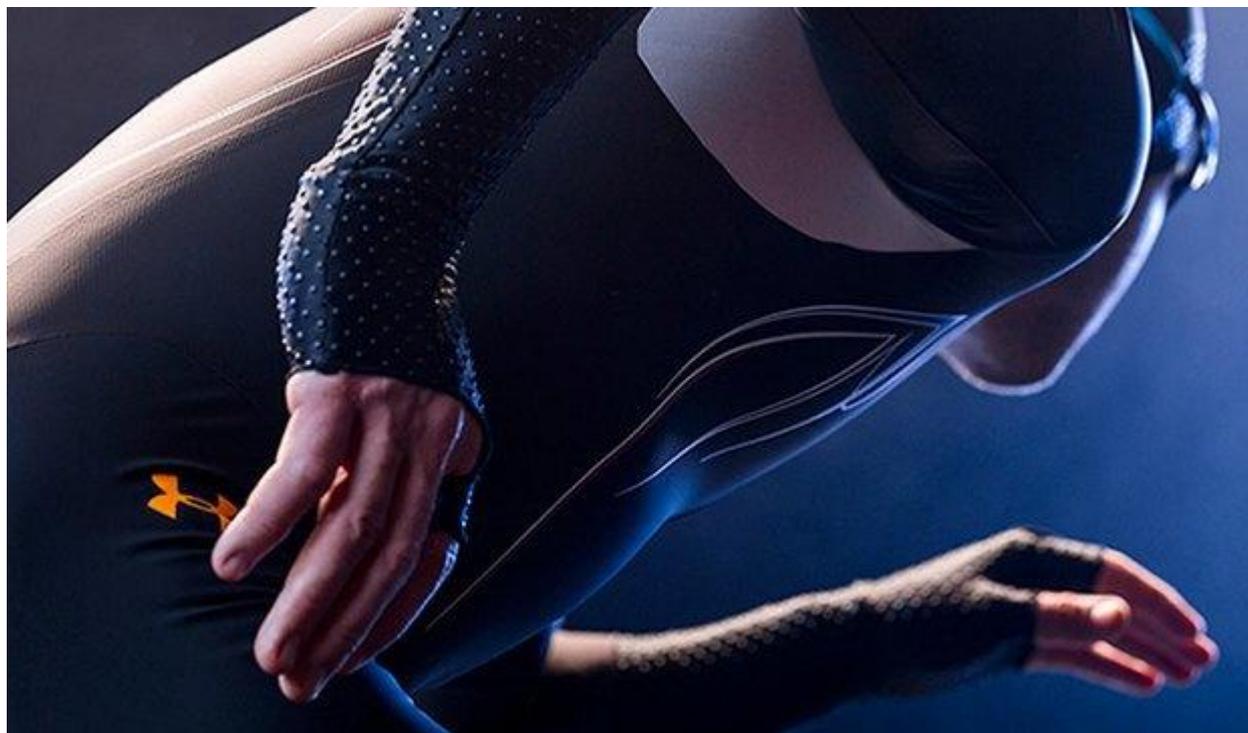


Сопротивление воздуха очень быстро растет со скоростью. Здесь необходимы меры, снижающие сопротивление воздуха. Так, если лыжник на спуске сменит высокую стойку на низкую, лобовое сопротивление уменьшится почти в 3 раза. Этой же цели служит аэродинамическая обтекаемая стойка в скоростном спуске. Однако, когда поверхность движущихся частей тела невелика или скорости малы (Например, рывок туловищем вверх при отталкивании ногой), сопротивление воздуха ничтожно. Важно не только принять и сохранить правильную стойку, но и подобрать материал и хорошо сшить из него комбинезон, он может быть более или менее обтекаемым.

Французы первыми поняли, что трепещущий нагрудный номер - это недопустимая роскошь при скорости 100км/ч. Под градом шуток они приклеили номера к костюмам пластырем. И повеселились на финише. Ныне в погоне за сотыми долями секунды даже конькобежцы надели сверхобтекаемые комбинезоны, а лыжников порой обдувают в аэродинамических трубах, чтоб понять поведение экипировки, и чтобы они поняли, как лучше вести себя в ситуации со встречным ветром. А изогнутые палки позволяют принять более выгодную стойку.

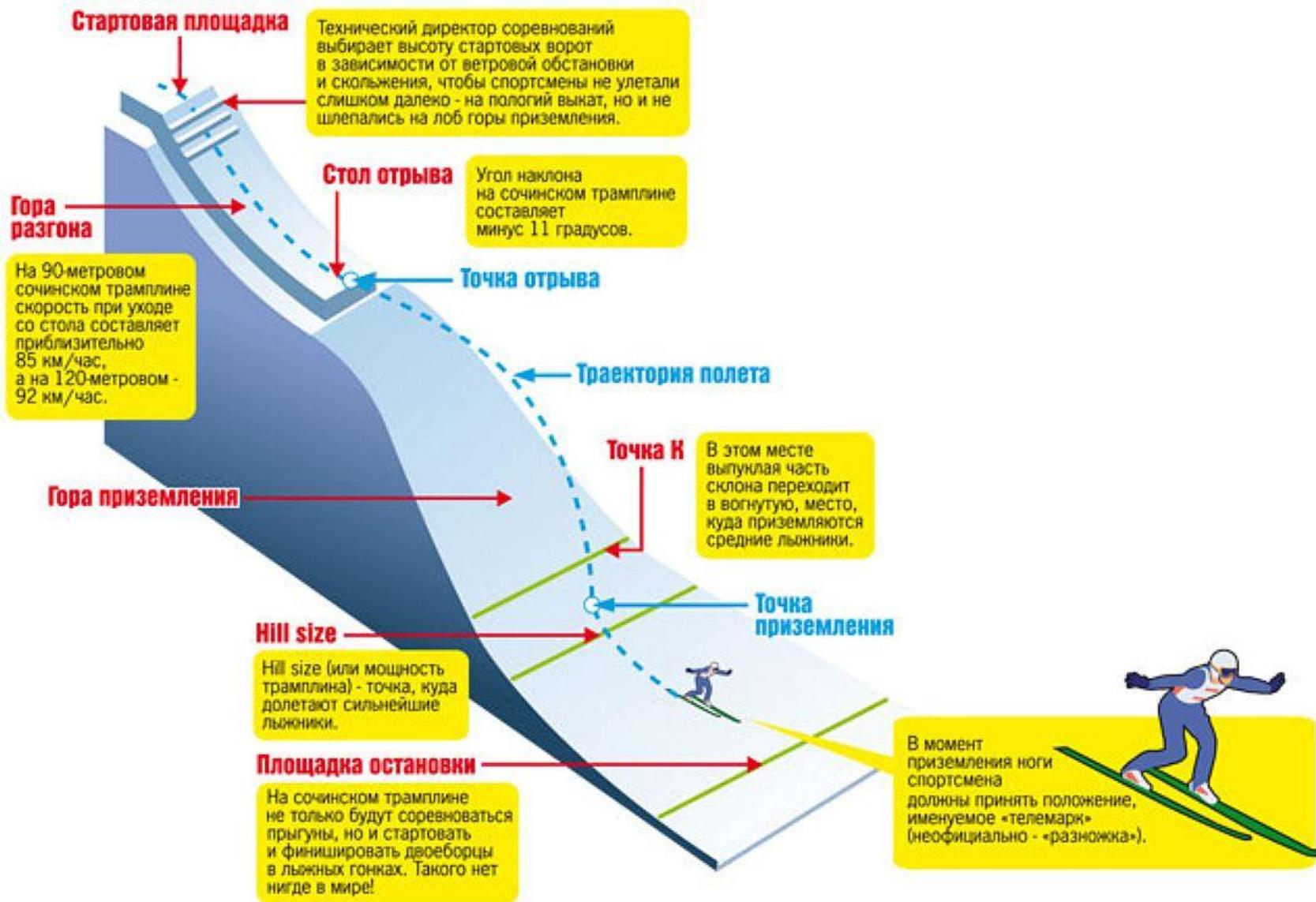
Форма конькобежцев для новых рекордов

Известно, что аэродинамика имеет огромное значение в конькобежном спорте, где часто победителей от проигравших отделяют сотые доли секунды.



Исследователи обнаружили, что самая гладкая ткань — не лучший вариант для «экстремально быстрого» костюма. Опытным путём они доказали, что грубый текстиль, нарушающий поток воздуха, показывает лучшие результаты как в аэродинамической трубе, так и на льду. В итоге их костюм Mach 39, состоящий из пяти типов тканей, получил перфорированную вставку в области позвоночника, которая эффективнее отводит тепло, и специальную аппликацию на внутренней поверхности бедра, которая должна сокращать трение на поворотах.

Однако некоторые американские атлеты [выразили мнение](#), что новая форма затрудняет движения и уменьшает скорость. В качестве доказательств этого они приводят тот факт, что во время Игр в Сочи члены конькобежной сборной США, имеющей несколько титулованных чемпионов, так и не смогли подняться выше седьмого места.

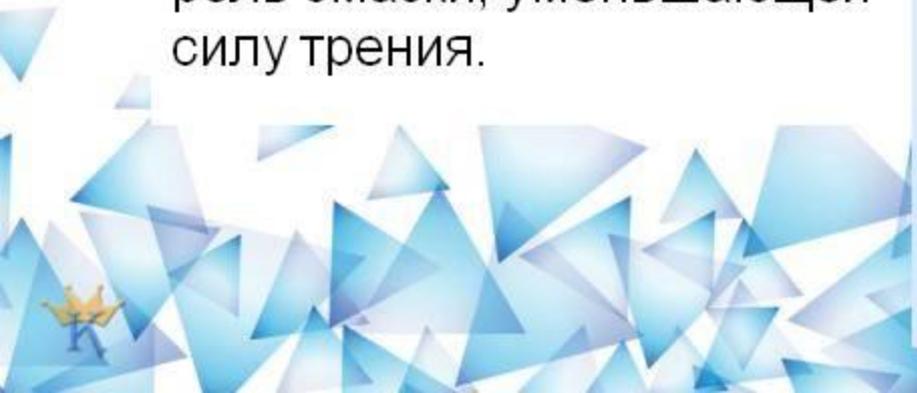
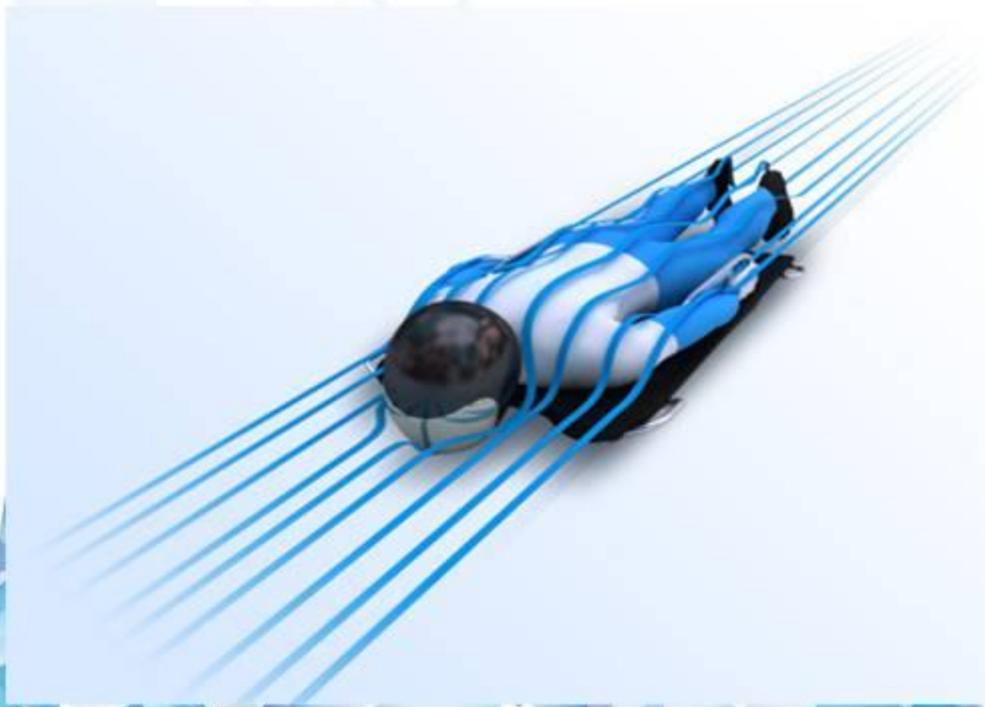


Физика санного спорта

При **движении** саней возникает еще одна сила - **сила аэродинамического сопротивления**, которая очень быстро увеличивается с ростом скорости спуска.

Чтобы **уменьшить силу сопротивления**, спортсмен во время движения *лежит на санях*, следя за трассой боковым зрением. Силу сопротивления уменьшают также, **надевая обтекаемый аэродинамический костюм** и слегка подогревая полозья саней.

Нагретый полоз сильнее плавит лед, и в зоне его контакта появляется пленка воды. Она играет роль смазки, уменьшающей силу трения.





Санный спорт является одним из самых экстремальных и опасных видов спорта на олимпийских играх. Спуск происходит в одноместных или двухместных санях по скоростному спуску по трассе из искусственного льда.

Спортсмен сидя в санях отталкивается от специальных перил, после чего укладывается в санях и проходит трассу лежа вперед ногами, управление происходит смещением центра тяжести тела спортсмена.

Побеждает тот спортсмен, который прошел дистанцию быстрее остальных. Во время прохождения трассы, спортсмены развивают скорость более 140 км/ч.

Движение происходит по готовой трассе, поэтому траекторией движения является форма трассы, но время спуска зависит от правильной минимальной траектории внутри трассы.



← назад

с которой мы уже познакомились, когда говорили о прыжках на лыжах с трамплина. Это та самая сила, которая помогает лыжнику, прыгающему с трамплина, дольше продержаться в воздухе, которая поддерживает в воздухе самолет. Разница лишь в том, что сила толкает парус буера не только вверх, но и вперед.

Чем сильнее ветер, тем подъемная сила больше, конечно, лишь до известного предела.

Исследования показали, что передняя плоскость паруса, обращенная к ветру, испытывает значительно большее давление, чем задняя, где воздух становится более разреженным.

Следовательно, на парус действует не только давление ветра, толкающего его вперед, но и разреженность воздуха. Благодаря этому парус как бы засасывается. Эта сила засасывания очень велика. Действуя совместно, обе эти силы способствуют тому, что буер мчится со скоростью, превышающей скорость ветра.

Чем лед глаже, тем лучше скользит буер. Но это еще не все.

Здесь действует так называемая подъемная сила, с которой мы уже познакомились, когда говорили о прыжках на лыжах с трамплина. Это та самая сила, которая помогает лыжнику, прыгающему с трамплина, дольше продержаться в воздухе, которая поддерживает в воздухе самолет. Разница лишь в том, что сила толкает парус буера не только вверх, но и вперед.

Чем сильнее ветер, тем подъемная сила больше, конечно, лишь до известного предела.

Исследования показали, что передняя плоскость паруса, обращенная к ветру, испытывает значительно большее давление, чем задняя, где воздух становится более разреженным.

Следовательно, на парус действует не только давление ветра, толкающего его вперед, но и разреженность воздуха. Благодаря этому парус как бы засасывается. Эта сила засасывания очень велика. Действуя совместно, обе эти силы способствуют тому, что буер мчится со скоростью, превышающей скорость ветра.

Питерские буеристы И. Матвеев и С.

Витт, например, сумели развить рекордную скорость – 103,4 километра в час. А на специальных скоростных буерах можно двигаться еще быстрее.

Буер может скользить не только по ветру, но и почти против ветра, или, как говорят, идти «острым курсом».

Чем объясняется это необычное явление? Ответ дают все те же законы аэродинамики.

Благодаря тому, что на подветренной стороне паруса создается разреженное пространство, возникает новая сила – засасывающая. Ее действие направлено перпендикулярно к плоскости паруса.

Но поскольку сам парус установлен под некоторым углом к ветру, то направление тяги не будет совпадать с тем направлением, куда дует ветер.

Вот почему буер, так же как и парусная яхта, может двигаться не только по ветру, но и под некоторым углом против ветра.

Искусный спортсмен, то и дело меняя курс, лавируя, может направить свой буер даже против ветра и вернуться туда, откуда взял старт.

Законы
аэродинамики

