

КАК

Наука о скорости - как быстро мы можем двигаться?



от Ого Картера - редактор

3 июля 2015 г.

В июне мы много писали о скорости здесь, на Boards, и во время [Big Speed Debate](#) с нами связался читатель Рик Ханке, чтобы рассказать больше о науке о том, насколько быстро мы можем двигаться на виндсерфинге.

Итак, если вы готовы, вот полное объяснение того, насколько быстро мы действительно можем двигаться и почему ...



Файлы cookie помогают нам предоставлять наши услуги. Используя этот сайт, вы соглашаетесь на использование файлов cookie. [Выучить](#)

[больше](#)

Антуан Альбо

Слова Рика Ханке.

Парусный спорт

Чтобы рассчитать характеристики парусной лодки, доски для виндсерфинга или воздушного змея, мы должны посмотреть на действующие силы и моменты и найти условия, при которых все силы и моменты находятся в равновесии (закон Ньютона). Это состояние является так называемым устойчивым состоянием системы, которое позволяет нам определять скорость.

СИЛЫ

Основы аэродинамики и гидродинамики позволяют нам рассчитывать действующие силы и моменты в условиях ветра, которые хорошо известны в теории и практических исследованиях парусных лодок и яхт на протяжении многих лет.

Рассматривая систему виндсерфинга, мы имеем аэродинамическую силу паруса, создающую кренящий момент, который уравнивается весом моряка (рис. 1). Общая сила на парусе передается через ноги моряка на доску. Общая парусная сила может быть разделена на часть, которая направлена по направлению (курсу) движения, движущую силу или тягу паруса и силу, перпендикулярную движению, боковая сила должна уравниваться плавником. С другой стороны, у нас есть гидродинамическая сила сопротивления доски и плавника, которые противоположны силе тяги. Когда обе равны, достигается максимальная скорость, рис.2.

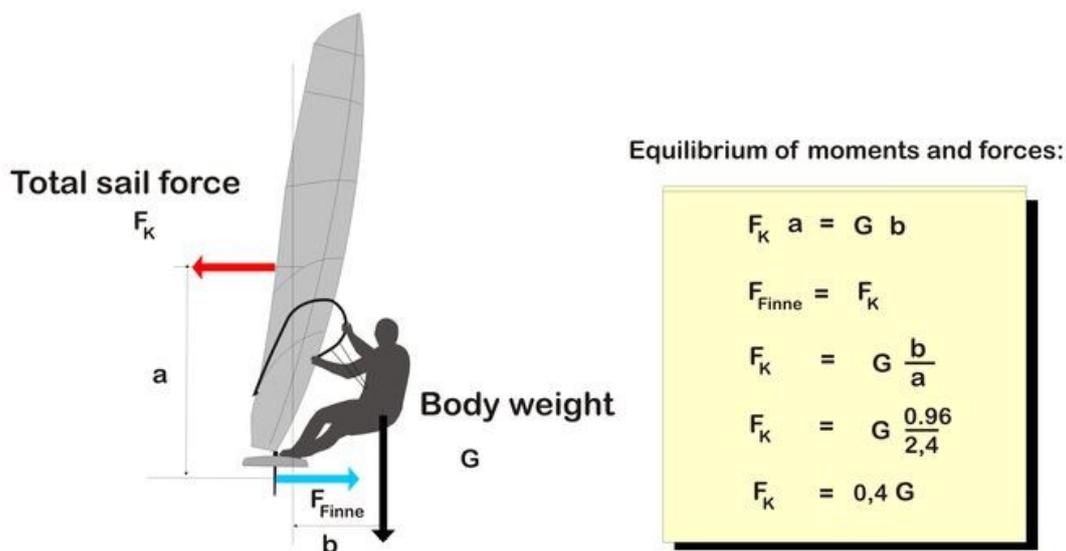


Рис.1: Максимальная парусная сила за счет компенсации кренящего момента

Файлы cookie помогают нам предоставлять наши услуги. Используя этот сайт, вы соглашаетесь на использование файлов cookie. [Выучить](#)

[больше](#)

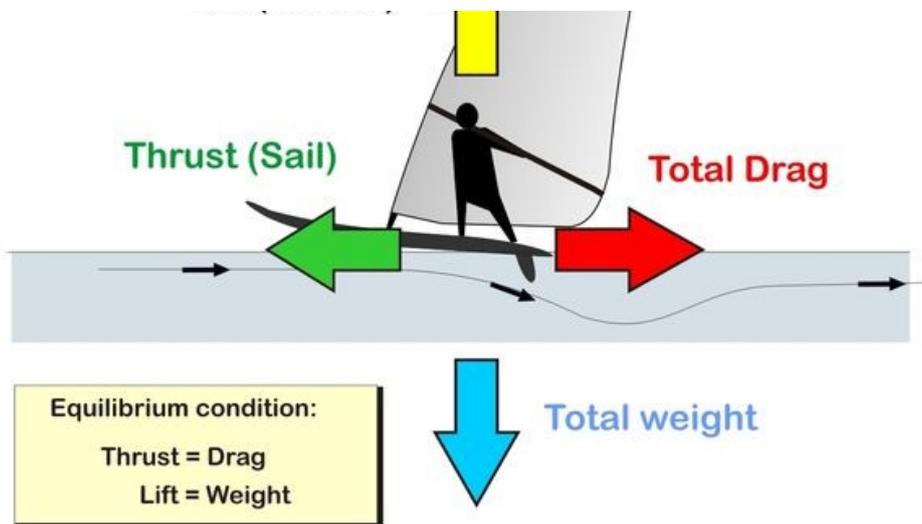


Рис.2: Силы на доске для виндсерфинга, вид сбоку

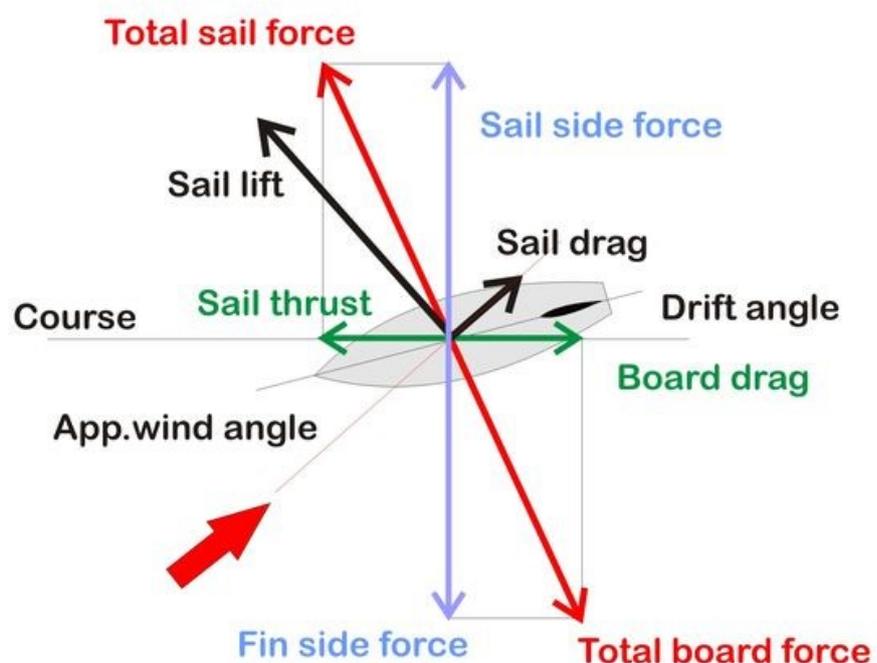


Рис. 3: Силы и определения углов на доске для виндсерфинга, вид сверху

Ограничения силы на парусе

Из-за веса тела

Важным результатом является то, что максимальная парусная сила абсолютно ограничена весом моряка, который создает момент, отклоняясь, чтобы уравновесить кренящий момент.

Учитывая типичную геометрию тела, получается, что максимальная парусная сила

Файлы cookie помогают нам предоставлять наши услуги. Используя этот сайт, вы соглашаетесь на использование файлов cookie. [Выучить](#)

[больше](#)

Из-за угла кажущегося ветра

Хорошо известно, что при движении по определенному курсу и заданной интенсивности ветра угол кажущегося ветра будет уменьшаться с увеличением скорости движения, **рис.**

4. Этому эффекту можно в некоторой степени противодействовать, увеличивая угол курса (при движении по ветру) и плаванием при более сильном ветре, что увеличит вымпельный угол ветра при заданной скорости движения.

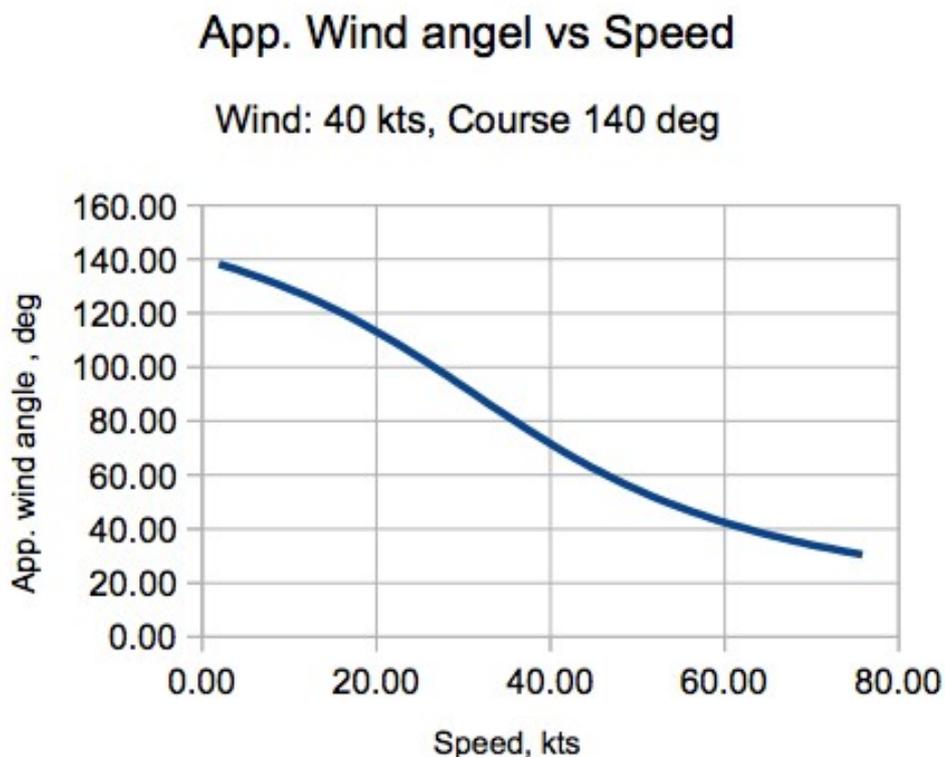


Рис.4: Угол вымпельного ветра в зависимости от скорости и курса

Составляющая парусной силы в направлении движения (тяга) напрямую зависит от угла вымпельного ветра.

Угол вымпельного ветра является функцией отношения скорости (V_s) к скорости ветра (V_t) и курсового угла.

Вот почему для высокой скорости нужен сильный ветер. Чем сильнее ветер, тем больше вымпельный угол ветра и больше тяга. Но уменьшение тяги со скоростью - это неизбежный физический эффект, который нельзя изменить и который справедлив для всех судов, движущихся в условиях ветра по воде, суше, снегу или льду.

Тяга и боковая сила в зависимости от скорости для постоянной силы на парусе показаны на **рис. 5**. Тяга уменьшается со скоростью, в то время как боковые силы увеличиваются со скоростью.

Thrust and Side Force vs Speed

Файлы cookie помогают нам предоставлять наши услуги. Используя этот сайт, вы соглашаетесь на использование файлов cookie. **Выучить**

больше



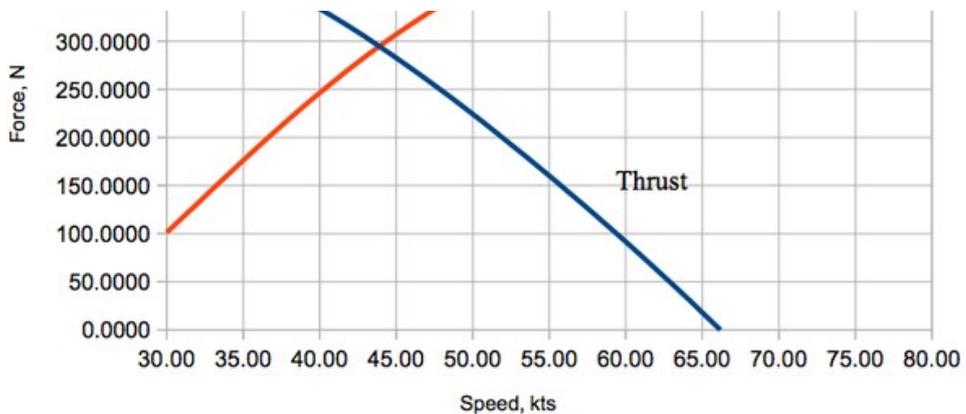
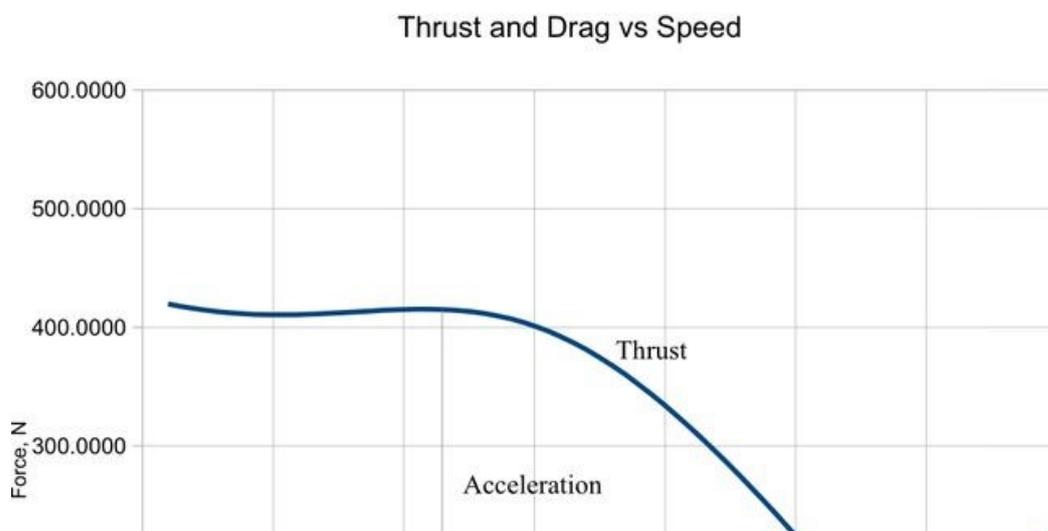


Рис.5: Тяга и боковая сила в зависимости от скорости на заданном курсе с постоянной парусной силой

Гидродинамическое сопротивление доски

У глиссирования есть сопротивление, которое почти **постоянно** и независимо от скорости. Сопротивление при глиссировании сначала прямо пропорционально общему весу системы виндсерфинга и углу атаки доски независимо от скорости и площади поверхности. Во-вторых, мы должны добавить некоторое сопротивление трения и аэрозольного сопротивления, пропорциональное площади смачиваемой поверхности, которое пропорционально квадрату скорости. В связи с тем, что с увеличением скорости доска поднимается, площадь смоченной поверхности автоматически уменьшается таким образом, что уравнивается только общий вес. Благодаря этому в любое время автоматически обеспечивается минимальное сопротивление.

Максимальная скорость достигается, когда тяга паруса и сопротивление доски равны. Это достигается на пересечении обеих кривых, как показано на **рис. 6**. Из рисунка видно, что более высокие скорости возможны при увеличении тяги * (смещение кривой вверх) и / или уменьшение сопротивления (смещение кривой сопротивления вниз). Разница между силой тяги и силой сопротивления, деленной на массу системы, представляет собой ускорение, которое, естественно, равно нулю при достижении состояния постоянной скорости. Далее видно, что примерно на 66 узлах тяга становится нулевой.



Файлы cookie помогают нам предоставлять наши услуги. Используя этот сайт, вы соглашаетесь на использование файлов cookie. [Выучить](#)

[больше](#)

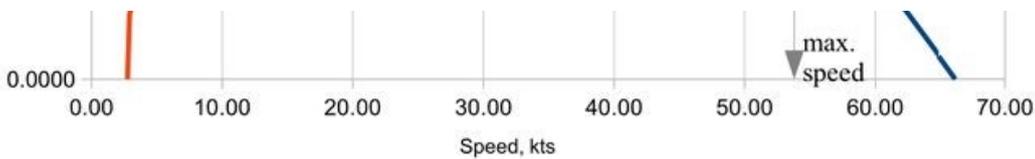


Рис.6: Аэродинамическая тяга и гидродинамическое сопротивление в зависимости от скорости на курсе 140 градусов, постоянная сила паруса.

В результате скорость плавания ограничивается, во-первых, общим ограничением силы на парусе из-за веса моряка, а во-вторых, углом выпельного ветра (функцией скорости, силы ветра и курса), что снижает тягу с увеличением скорости.

Все это можно относительно легко вычислить, и получается, что нынешний мировой рекорд около 52 узлов - это именно то, что мы можем получить с учетом типичного моряка, размера паруса, размера плавника и ветровых условий.

На рис. 7 показан расчет скорости, с которой мы можем идти (V_s) на курсе 140 градусов. по ветру как функция скорости ветра (V_t).

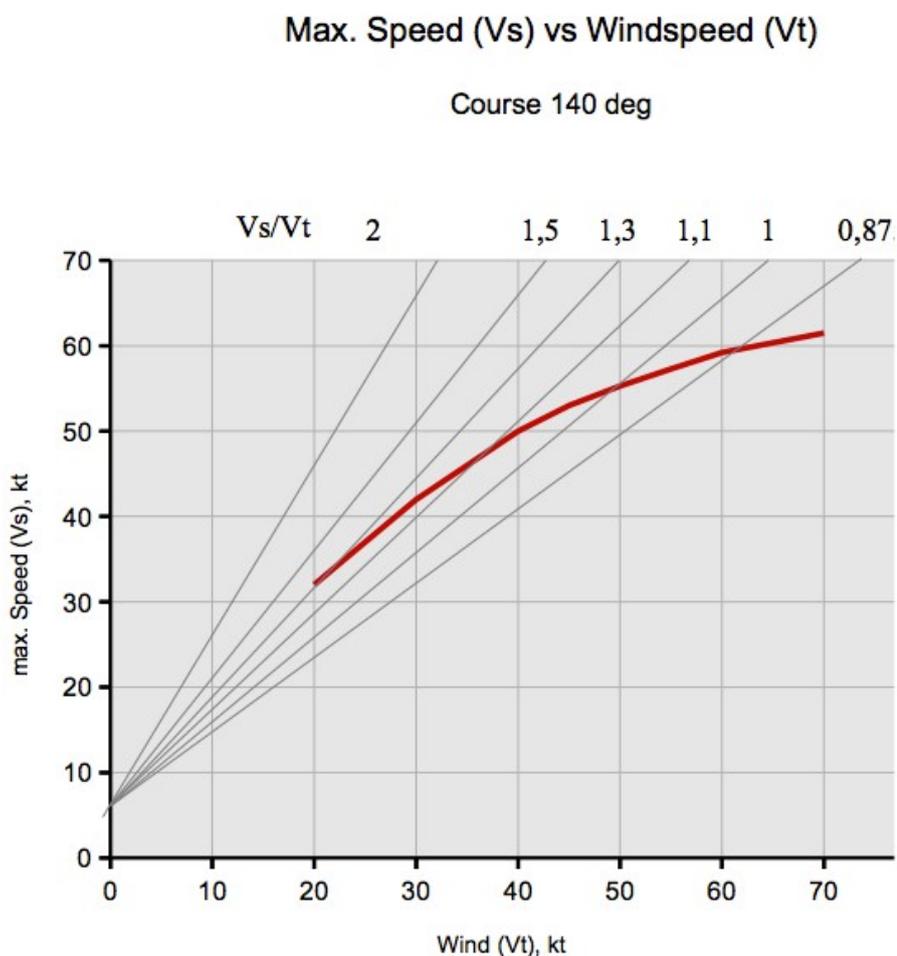


Рис. 7: Максимально возможная скорость в зависимости от скорости ветра при курсе 140 град. Скорость ветра 40 узлов.

Также если есть некоторая неопределенность, то ее можно уточнить, обратив...

Файлы cookie помогают нам предоставлять наши услуги. Используя этот сайт, вы соглашаетесь на использование файлов cookie. [Выучить больше](#)

идти действительно быстрее, требуется гораздо больше силы ветра. Градиент становится очень плоским, так что скорость не увеличивается.

Например, чтобы получить скорость 60 узлов, необходимо 60 узлов ветра.

Где мы можем найти эти условия с ровной водой?

Кто сможет обращаться с доской в таких условиях?

Повышенная скорость ветра вызовет волнение в море и приведет к дополнительному сопротивлению.

Как мы можем двигаться быстрее?

Если мы посмотрим на распределение сопротивления компонентов виндсерфа примерно на 52 узлах, как показано на **рис. 8**, мы сможем оценить, какую скорость мы можем получить, если сможем уменьшить сопротивление некоторых компонентов.

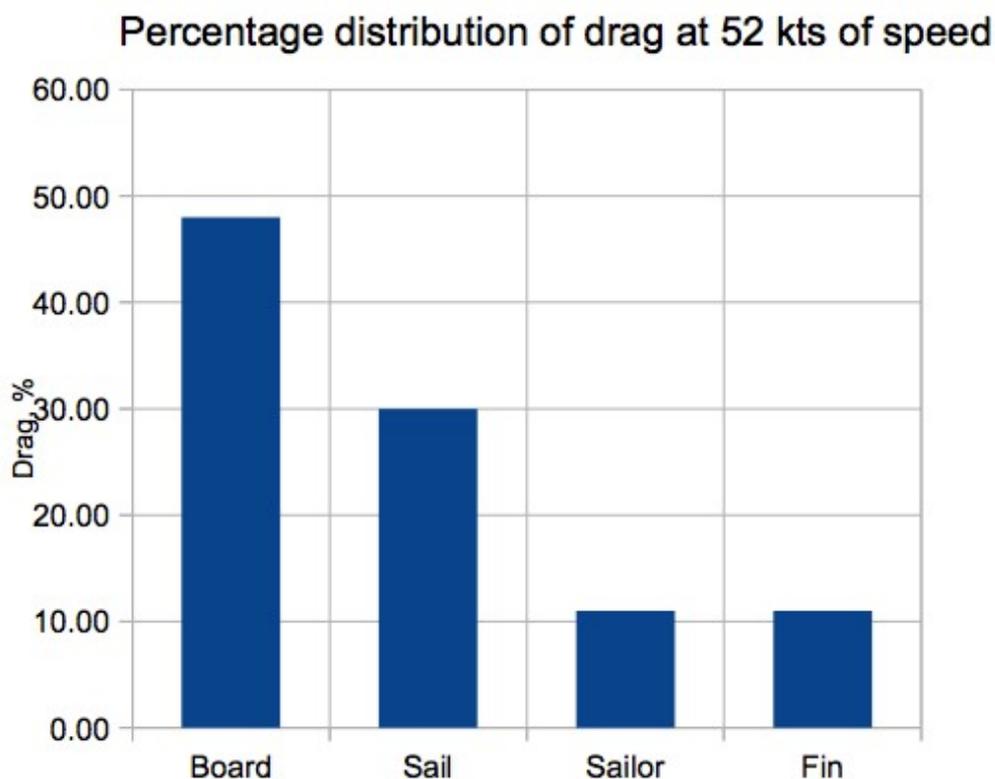


Рис. 8: Распределение величины сопротивления компонентов виндсерфинга на скорости 52 узла.

Например, уменьшение сопротивления плавника на 10% дает общее снижение лобового сопротивления примерно на 1,1%.

Снижение сопротивления на 1,1% означает улучшение скорости на 0,5%. Это будет 52,26 узла вместо 52 узла и на 0,26 узла больше.

Файлы cookie помогают нам предоставлять наши услуги. Используя этот сайт, вы соглашаетесь на использование файлов cookie. [Выучить больше](#)



Лишь небольшое количество улучшений может быть достигнуто на существующих досках для виндсерфинга за счет устранения всех неблагоприятных компонентов сопротивления паруса за счет сглаживания передней кромки паруса, гика, строп и самого моряка.

Аэрозольное сопротивление(?) доски возможно может быть уменьшено за счет определенного контура и других деталей.

Но в целом большие шаги невозможны.

Влияние веса тела

Вес тела моряка определяет возможную тягу. Чем больше вес, тем больше тяга, но, с другой стороны, чем больше вес, тем больше сопротивление доски, которая должна поднимать дополнительный вес, связанный с большим сопротивлением. Но в результате можно рассчитать, что

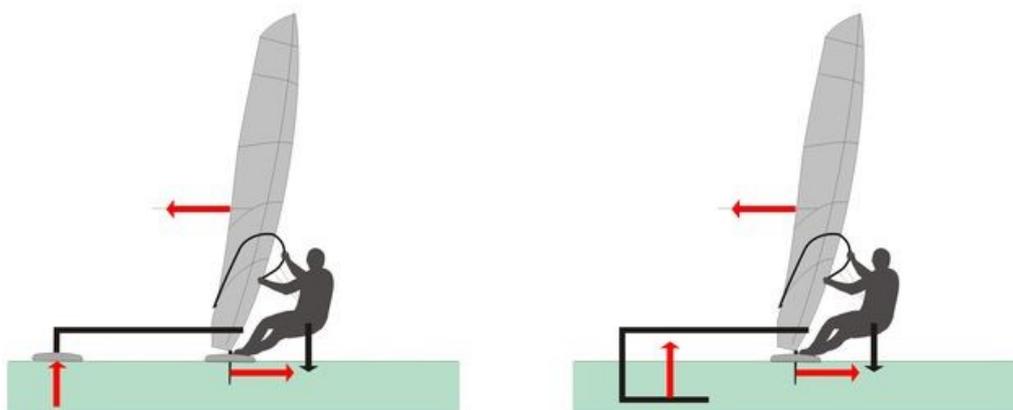
Увеличение веса на 100 Н(10кг) приводит к увеличению скорости примерно на 2 узла.

Мечта об Антуане Альбо, идущем 50 узлов при ветре 30 узлов, будет означать, что он должен увеличить свой вес на 1000 Н(100кг) и использовать парус 8 м².

Это, естественно, совершенно нереально ...

Но мы можем двигаться быстрее, если оставим конфигурацию виндсерфинга и воспользуемся конфигурацией, как это реализовано в Sailrocket II, где кренящий момент не уравнивается моряком, а полностью уравнивается гидродинамическими (крыло) и аэродинамическими средствами (горизонтальное крыло), так что общая парусная сила могла быть увеличена до очень высоких значений без каких-либо проблем с устойчивостью.

Аналогичным решением (рис. 9) может быть выносная опора, установленная на мачте с устройством для глассирования или крылом под водой, чтобы обеспечить момент, который, по крайней мере, частично компенсирует кренящий момент. В этом случае можно было бы применить гораздо больше тяги и можно было бы достичь гораздо более высоких скоростей.



Файлы cookie помогают нам предоставлять наши услуги. Используя этот сайт, вы соглашаетесь на использование файлов cookie. [Выучить](#)

[больше](#)



Надеяться на использование судов на подводных крыльях для увеличения скорости нереально.

При использовании судна на подводных крыльях сопротивление крыла увеличивается пропорционально квадрату скорости. Это большой недостаток по сравнению с поверхностью глассирования, где сопротивление практически не зависит от скорости. Этот эффект ограничивает применение крыла для высокоскоростного виндсерфинга, либо нужно делать их очень маленькими. Для высокой скорости площадь крыла должна быть оптимизирована по лобовому сопротивлению для требуемой скорости, например, для 50 узлов это означает площадь около 100 см². Но как можно подняться на такой маленькой площади на более низких скоростях? Кроме того, стойка для крыла должна быть действительно толстой, чтобы обеспечить необходимую устойчивость, которая дает большое сопротивление.

Управлять судном на подводных крыльях очень сложно, особенно контроль высоты - действительно большая проблема, для которой требуется автоматическое устройство, чтобы поддерживать его постоянным и предотвращать соприкосновение доски с поверхностью воды. Это было бы ужасно.

Наконец, вы не можете плавать на мелководье.

Кто хочет и может балансировать на нестабильном судне на подводных крыльях на скорости более 50 узлов?

В результате для существующих досок для виндсерфинга невозможно было достичь гораздо большей скорости из-за физических ограничений, упомянутых выше. Возможны лишь небольшие улучшения при лучших условиях: больше ветра, больше ровной воды.

Кто сможет их найти и сможет использовать, станет новым мировым рекордсменом.

Все сказанное выше справедливо и для воздушного змея. Кайтер может удерживать гораздо большую силу, потому что рычаг кренящего момента другой, но аэродинамическая эффективность кайта намного хуже (большее сопротивление), чем у паруса для виндсерфинга.

Вот почему рекорд кайта лишь немного выше рекорда виндсерфинга.