

ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПАРУСНОЙ ЯХТЕ.

К уровню комфорта и оборудования на борту парусных яхт, в частности крейсерско-гоночных классов, предъявляются известные требования в соответствии с их назначением. Однако самый высокий уровень комфорта, самые совершенные приспособления для настройки парусов, самые современные электронные приборы для управления яхтой окажутся бесполезными, если она не будет обладать мореходными качествами, которые гарантируют безопасность плавания при условиях, определенных районом плавания и назначением яхты. Яхта должна принимать определенную нагрузку, сохраняя достаточную высоту надводного борта, чтобы не быть залитой на волне. Она должна противостоять давлению ветра на паруса, чтобы не быть опрокинутой внезапно налетевшим шквалом. От яхты требуется хорошая маневренность в тесной гавани, и послушность рулю на штормовой волне. Она должна поддерживать возможно более высокую скорость при любых условиях и быть способной идти круто к ветру.

Все это и составляет важнейшие мореходные качества: плавучесть, непотопляемость, остойчивость, ходкость, управляемость, поведение на волнении, способность нести паруса.

Главные мореходные качества яхты: плавучесть, остойчивость, непотопляемость, ходкость и управляемость.

СТАТИКА

Основные понятия статики корабля:

Вес и водоизмещение:

Вес воды, вытесненной судном, называется весовым водоизмещением яхты, или просто водоизмещением. Отличают еще объемное водоизмещение, или объем воды, вытесненной судном. Весовое водоизмещение измеряют в тоннах (реже—в килограммах), объемное — в кубических метрах. В пресной воде объемное водоизмещение равно весовому, так как кубический метр пресной воды весит одну

тонну. Одна и та же яхта с определенным весовым водоизмещением (всегда равным весу яхты) в разной воде может иметь разное объемное водоизмещение. В пресной воде объемное водоизмещение больше, чем в соленой, так как соленая вода тяжелее пресной и при равном весе занимает меньший объем. Поэтому яхты в пресной воде сидят глубже, а в соленой — мельче.

Главные размерения: наибольшая длина и ширина, длина и ширина по ватерлинии, осадка, высота надводного борта показаны на рис. 1

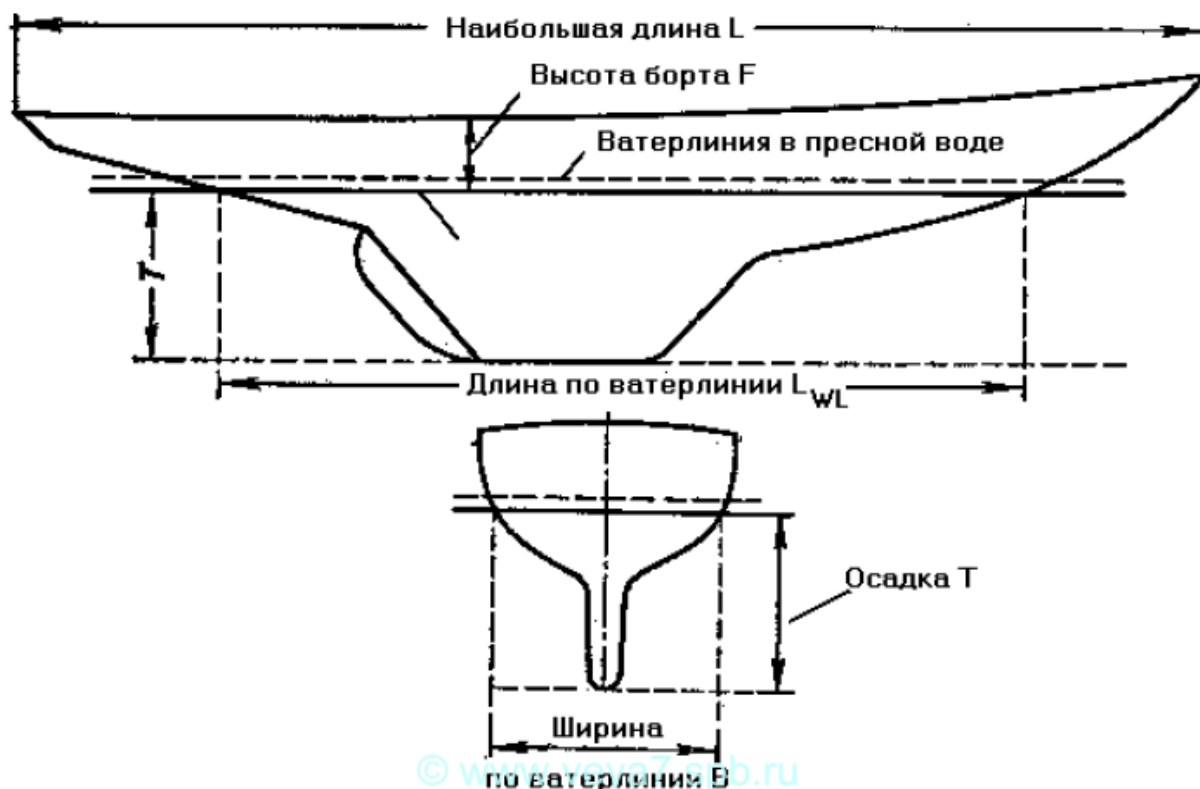


Рис. 1 Главные размерения яхты

Плавучесть

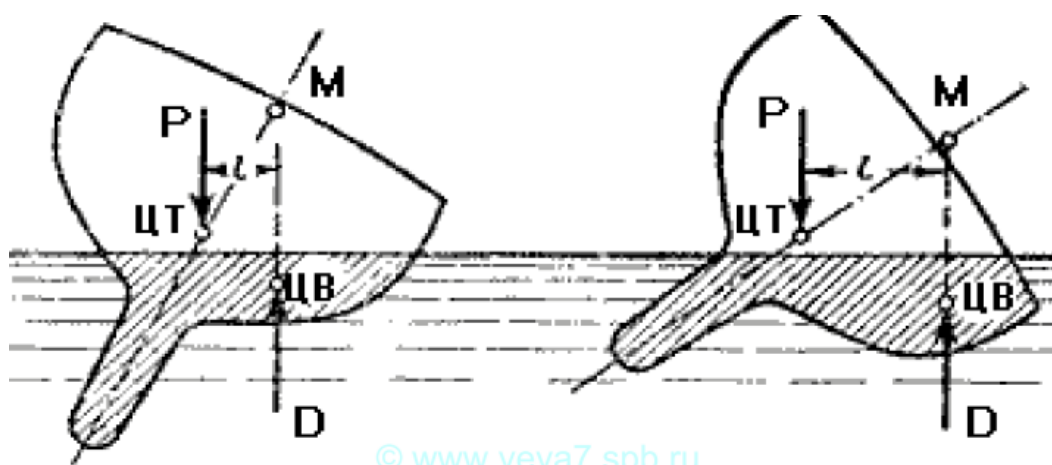
Плавучесть — это способность яхты держаться на воде (плавать). Она должна сохраняться при нагружении яхты, его движении и преодолении волн. Яхта в спокойном состоянии находится на воде в равновесии под действием двух сил: веса яхты (силы тяжести), направленного вертикально вниз, и силы давления воды на подводную часть (силы поддержания), направленной вертикально вверх. Эти силы равны по величине, и направлены в противоположную сторону по одной вертикали. Сила тяжести приложена в центре тяжести судна, сила поддержания — в центре погруженного объема (центре величины). По закону Архимеда сила плавучести равна весу воды, вытесненной судном.

Остойчивость.

Центр величины перемещается при крене и дифференте из-за изменения формы подводной части корпуса. Точка М на рис. 2 и 3 – условная точка, вокруг которой как бы поворачивается яхта при наклонении – наз. метacentром.

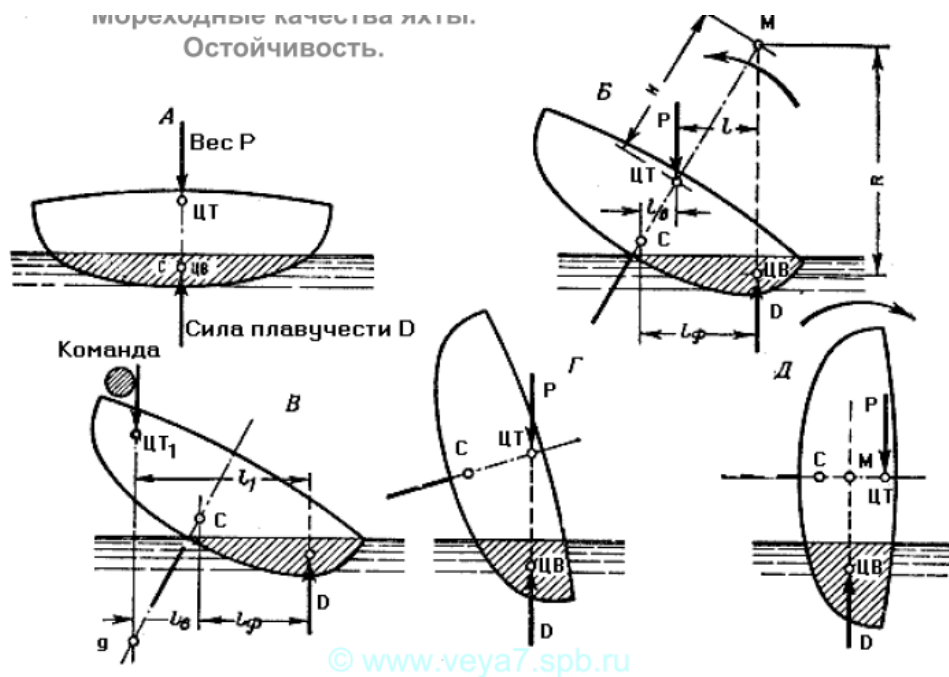
На рис. 2 и 3 видно, что силы тяжести и поддержания образуют пару сил, которая стремится либо выпрямить яхту (рис. 2, рис. 3 а-в), либо опрокинуть ее дальше (рис. 3 д). На рис. 3 (г) яхта находится в неустойчивом равновесии. Угол неустойчивого равновесия наз. углом заката остойчивости.

Графическая зависимость восстанавливающего момента от угла крена наз. диаграммой статической остойчивости (рис. 5). Из рис. 2-5 видно, что у килевых яхт начальная остойчивость невелика, зато угол заката может быть очень большим – аж до 180 град. (рис. 2,5). У катамарана, наоборот, максимум остойчивости возникает в момент отрыва поплавок от воды, и дальше остойчивость только уменьшается (рис. 4,5).



© www.veya7.spb.ru

Рис. 2 (а), (б) остойчивость килевой яхты



© www.veya7.spb.ru

Рис. 3 (а - д) Остойчивость швертбота

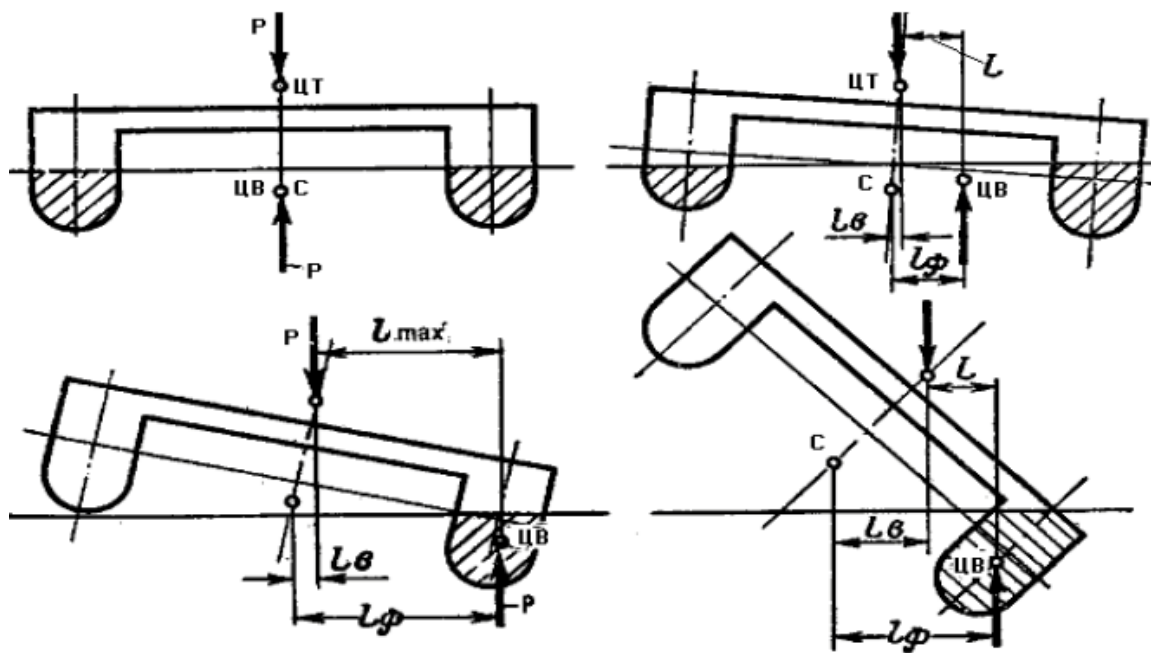


Рис. 4 (а-г) Остойчивость катамарана

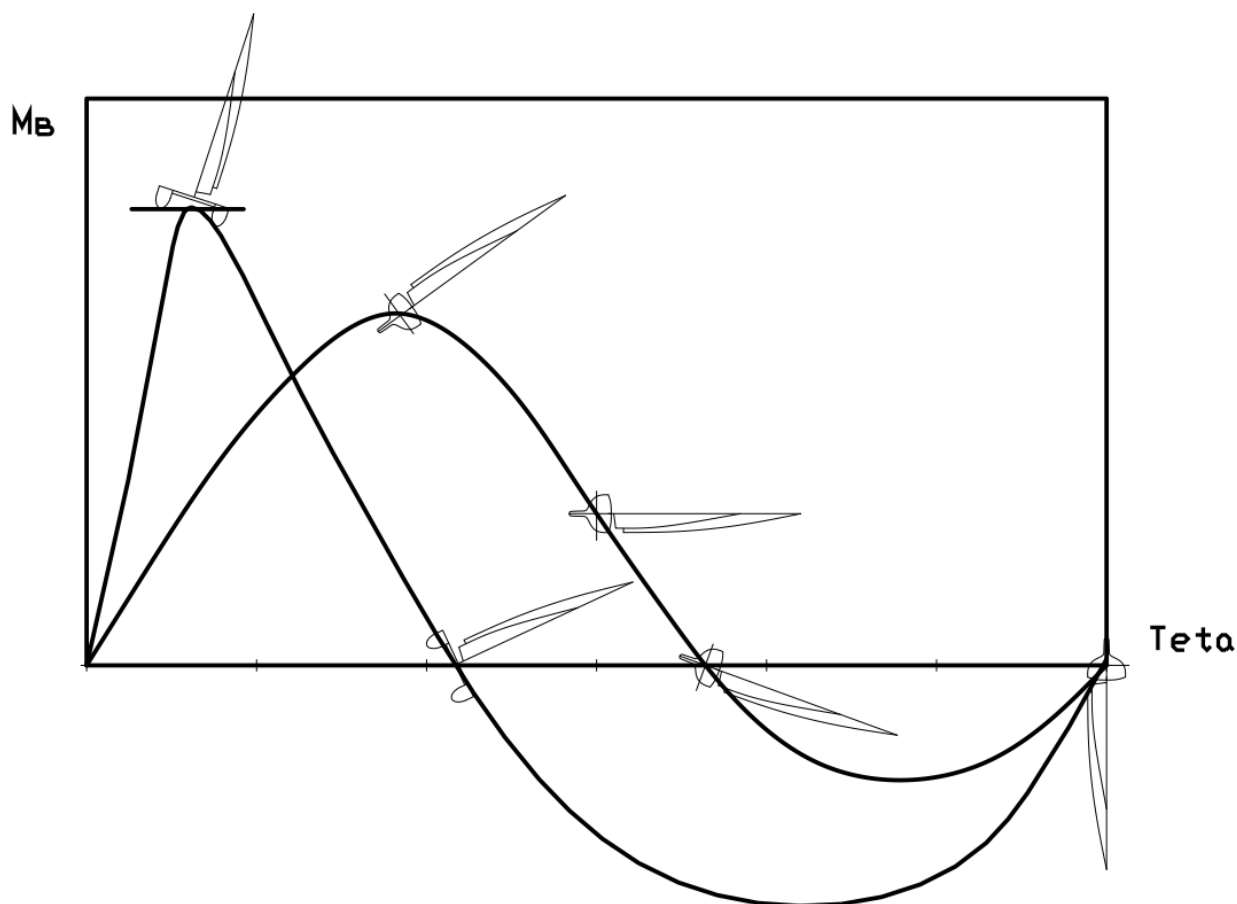


Рис.5. Диаграммы остойчивости килевой яхты и катамарана.

Но статическая остойчивость описывает остойчивость яхты только при постоянном или медленно нарастающем кренящем моменте (например, яхта под парусами при ровном ветре). Поэтому по этим диаграммам можно оценить поведение яхты только при небольшом крене (до 30-40 градусов); при бОльшем крене команда будет уменьшать парусность.

Поведение яхты при резком и / или кратковременном действии кренящего момента описывается динамической остойчивостью. (Представьте: на яхту налетел резкий порыв ветра, и тут же стих. Такой порыв может порвать паруса, даже сломать мачту, но он не успеет накренить яхту, т.к. она обладает инерцией). Характеристика динамической остойчивости – энергия, которую нужно приложить чтобы накренить яхту (в статической остойчивости была сила или момент). Графически динамическая остойчивость изображается площадью под кривой восстанавливающего момента. Если площадь под кривой восстанавливающего момента больше площади под кривой кренящего момента (т.е. энергия, необходимая для

накренения яхты, больше энергии внешних сил), то яхта не опрокинется (рис. 6 а, б).

Из рис. 6 видно, что при одинаковом макс. восстан. моменте килевая яхта намного остойчивее катамарана.

Что будет, если яхта все-таки опрокинулась? (считаем, что она водонепроницаема и не затонет при опрокидывании тут же).

Если на яхту не действуют внешние силы, то она будет спокойно плавать в перевернутом положении (рис. 5). Но насколько вероятно, что яхту перевернет одним-единственным порывом одной-единственной гигантской волной? Опрокидывание почти всегда происходит в шторм, а это значит, что волна будет раскачивать перевернутую яхту, и очень может быть, что перевернет ее обратно, если энергия, необходимая для спрямления яхты (площадь под диаграммой ниже оси абсцисс) невелика. Какой должен быть минимальный угол заката и какое соотношение положительной и отрицательной площадей – это задача серьезной науки. Правила ORC требуют, чтобы для океанских яхт угол заката был не меньше 120 град., а соотношение площадей – 4-5.

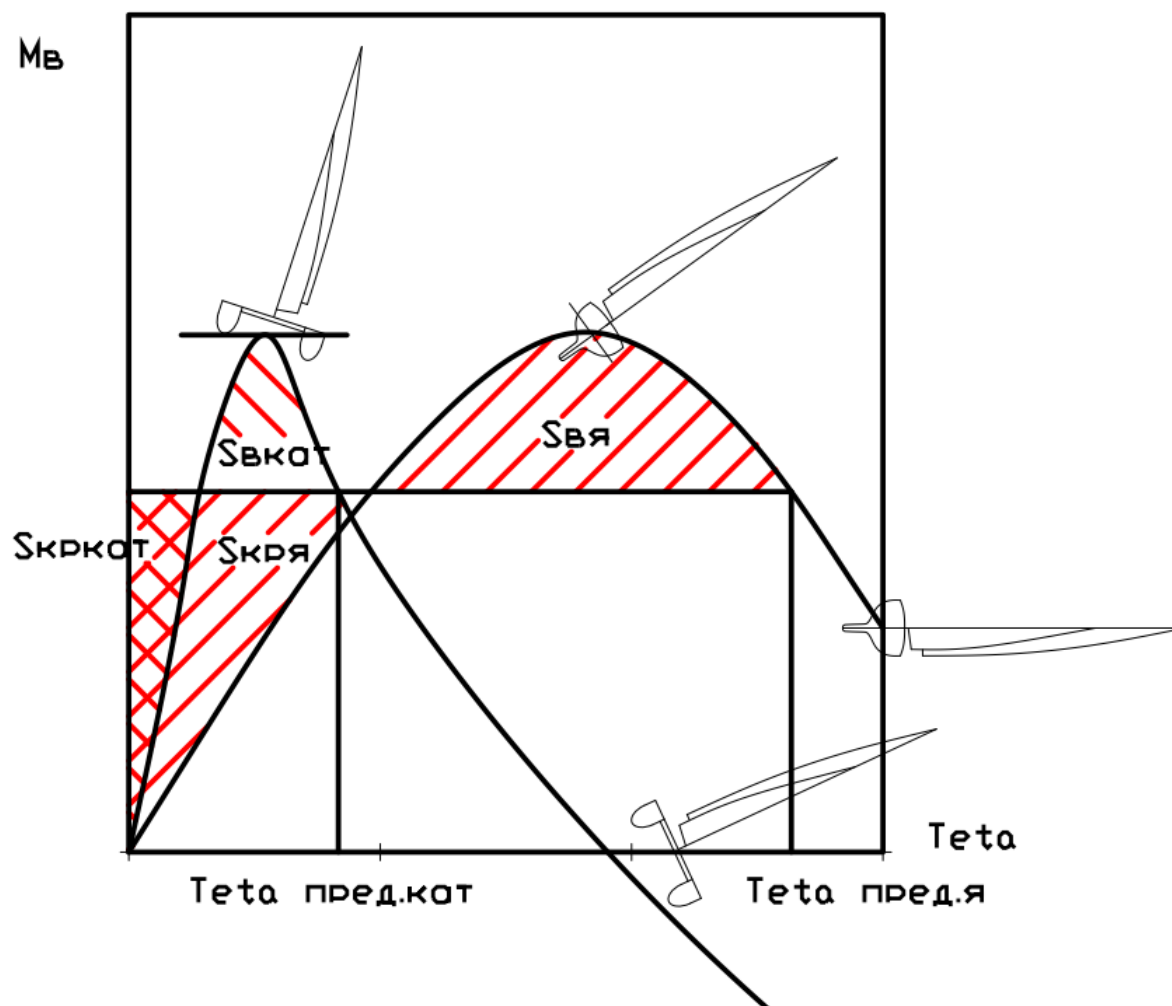


Рис 6(а)

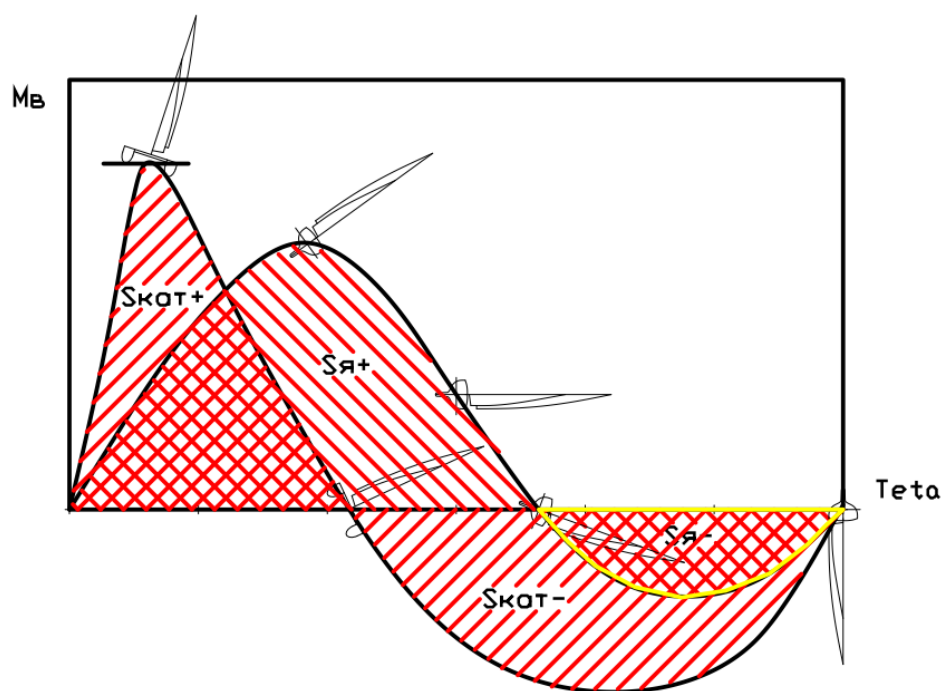


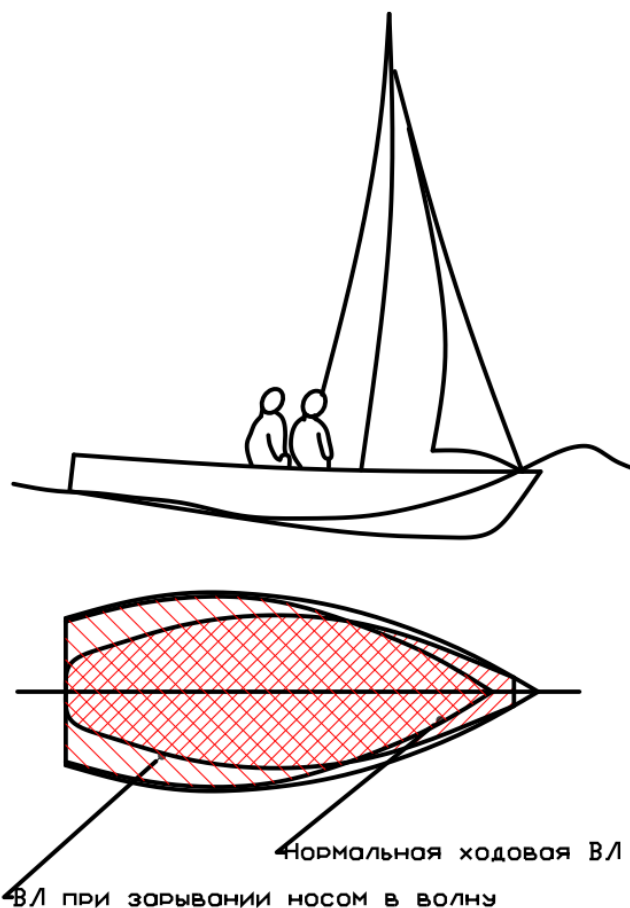
Рис. 6(б)

Остойчивость яхты на ходу.

Яхта на ходу кренится при порыве ветра меньше, чем яхта без хода на таком же порыве. Причины 2:

- На подветренной части корпуса яхты (особенно – глиссирующего швертбота) на ходу возникает дополнительная подъемная сила, препятствующая крену
- Яхта на попутных курсах на порыве разгоняется и как бы убегает от ветра, давление ветра на паруса уменьшается; на встречных курсах яхта автоматически разворачивается против ветра, и ее паруса обветриваются.

Механизм этих явлений – позже, в разделе «аэродинамика».



Продольная остойчивость.

В «большом» судостроении на продольную остойчивость обращают мало внимания: из-за большого L/V продольная остойчивость в десятки раз больше поперечной, и она имеет значение только в случае аварии («Титаник»). У яхт отношение L/V невелико (2-5), а дифференцирующий момент может быть большим из-за высоких парусов, поэтому продольная остойчивость так же важна, как поперечная. Опрокидывание легких яхт «через скулу» – не редкость. Механизм этого опрокидывания показан на рис.

Остойчивость пропорциональна моменту инерции ВЛ. Если яхта зарывается носом в волну, то, с одной стороны, из-за торможения увеличивается давление на паруса, т.е. увеличивается кренящий момент, а с др. стороны, уменьшается момент инерции ВЛ (рис.7), т.е. уменьшается остойчивость. Яхта может опрокинуться, как говорят, «через скулу» - т.е. опрокидывание на бок, но с погруженным носом.

Непотопляемость.

Непотопляемость - способность судна сохранять плавучесть и остойчивость при получении повреждений:

- пробоины (в рез-те столкновений с др. яхтами, судами, плав. предметами – бревна, контейнеры),
- сорванные закрытия люков
- поврежденные или не закрытые забортные отверстия.

Непотопляемость характеризуется запасом плавучести и остойчивости.

Запас плавучести – это объем от ВЛ до нижнего из отверстий, через кот. вода может попасть в яхту, т.е. то кол-во воды, которое может принять яхта прежде, чем затонет (рис.8 а-в).

Запас остойчивости – это энергия, кот. нужно приложить для опрокидывания яхты (площадь под диаграммой статической остойчивости).

Низкие вырезы люков (рис. 8(б)) и незакрытые отверстия (Рис. 8 (в)) уменьшают запас плавучести.

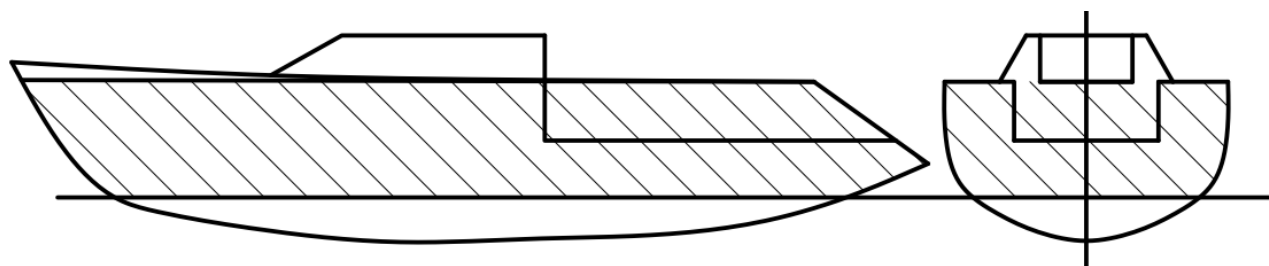


Рис. 8 (а)

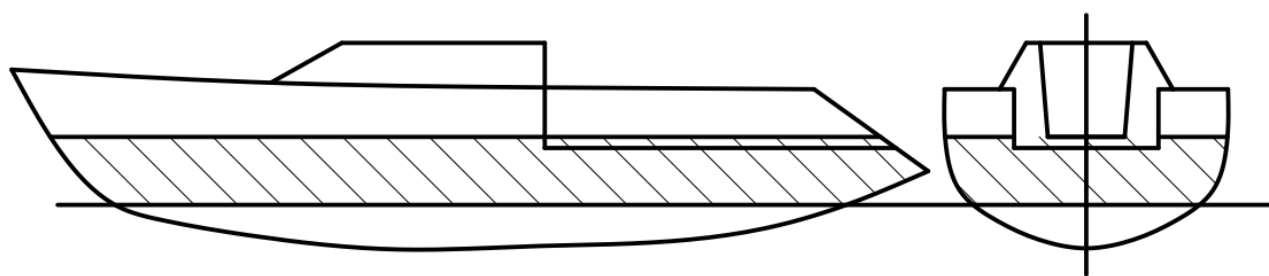


Рис. 8 (б)

На запас остойчивости больше всего влияет вода, свободно переливающаяся по корпусу, особенно на широких и плоских корпусах (рис. 9 а). На глубоких и узких корпусах (рис. 9б) даже большое количество воды мало влияет на остойчивость, и может даже увеличивать начальную остойчивость, т.к. работает, как балласт. Перетекающая вода сильно влияет и на продольную остойчивость, т.к. больше плечо перетекания (рис. 10)

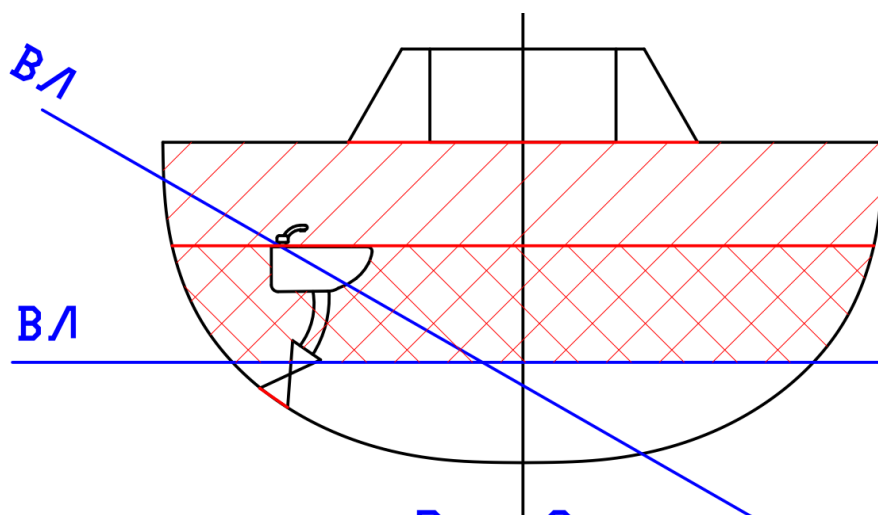


Рис. 8 в

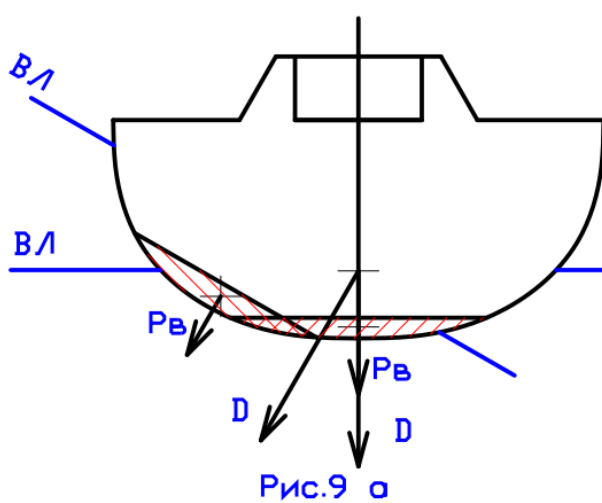


Рис.9 а

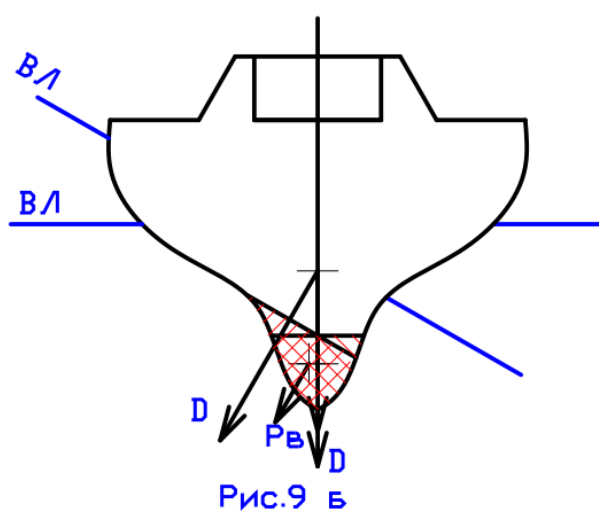
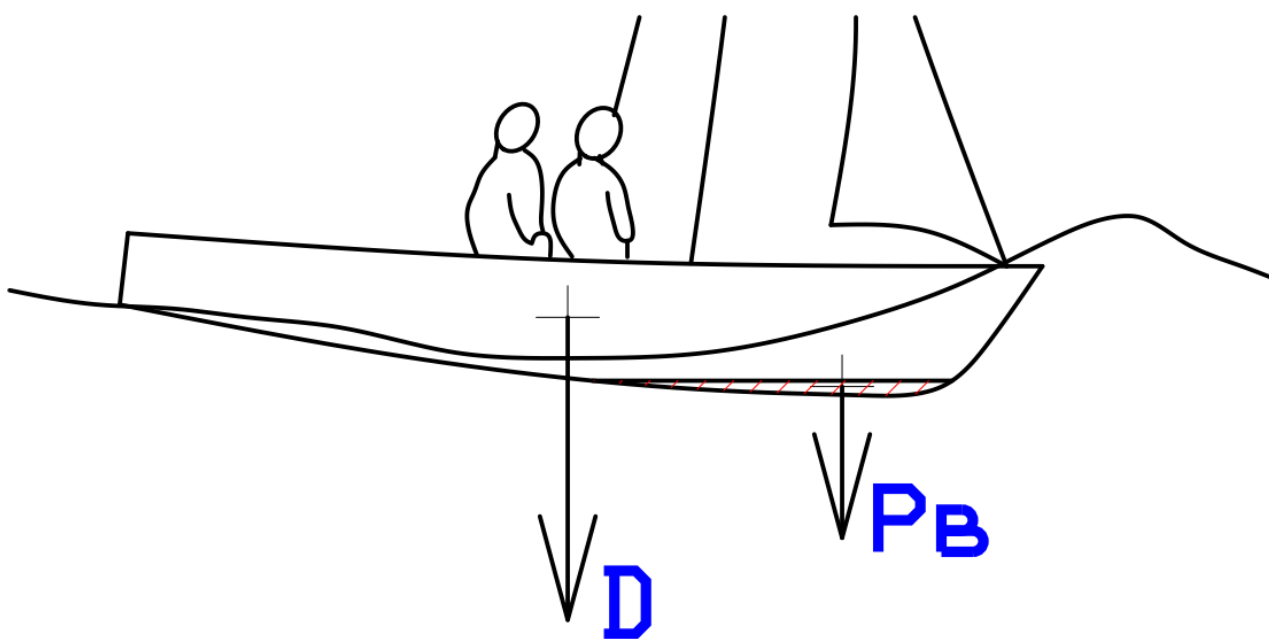


Рис.9 б



Ходкость

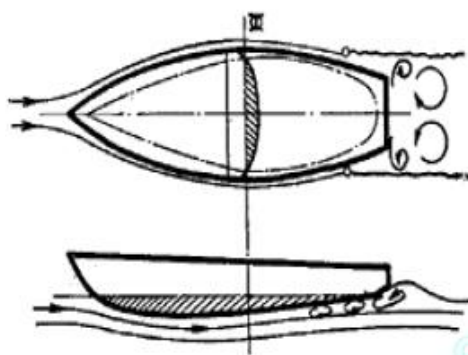
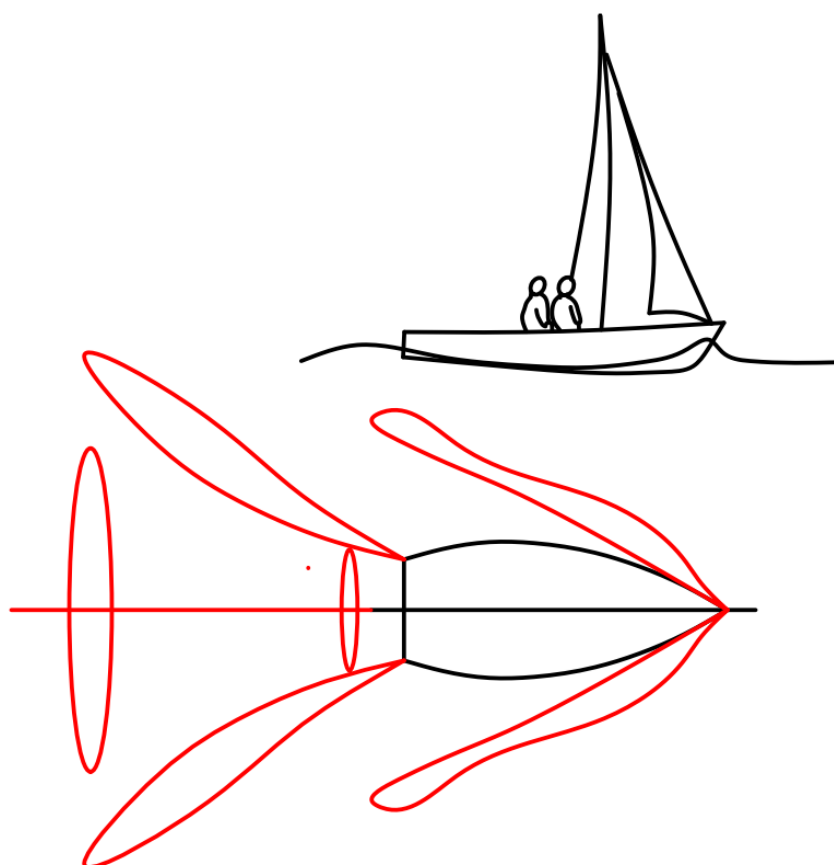
Ходкость – способность развивать и поддерживать максимально возможную в данных условия скорость. Она определяется, с одной стороны, сопротивлением, которое оказывает движению судна вода и воздух, а с другой — величиной движущей судно силы, то есть силы тяги парусов. Чем меньше сопротивление корпуса судна и чем больше сила тяги парусов, тем больше скорость судна.

Виды сопротивления:

- Сопротивление трения составляет большую часть сопротивления на малых скоростях (при $v_s < 1,5-1,6 \sqrt{L}$; для яхты длиной 10 м это 4,5-5 уз). Оно зависит от величины смоченной поверхности, то есть погруженной в воду поверхности корпуса, и от ее гладкости. Сопротивление трения существует всегда, даже на идеально гладкой поверхности, но чем меньше шероховатость, тем меньше и сопротивление трения. Существует величина шероховатости, за которой ее уменьшение не влияет на трение, но для наших размеров и скоростей это – практически полированное днище.

Чем больше смоченная поверхность, тем больше сопротивление трения. Поэтому бывает полезно при слабом ветре слегка закренивать яхту и дифферентовать ее на нос, особенно на яхтах с плоскими обводами.

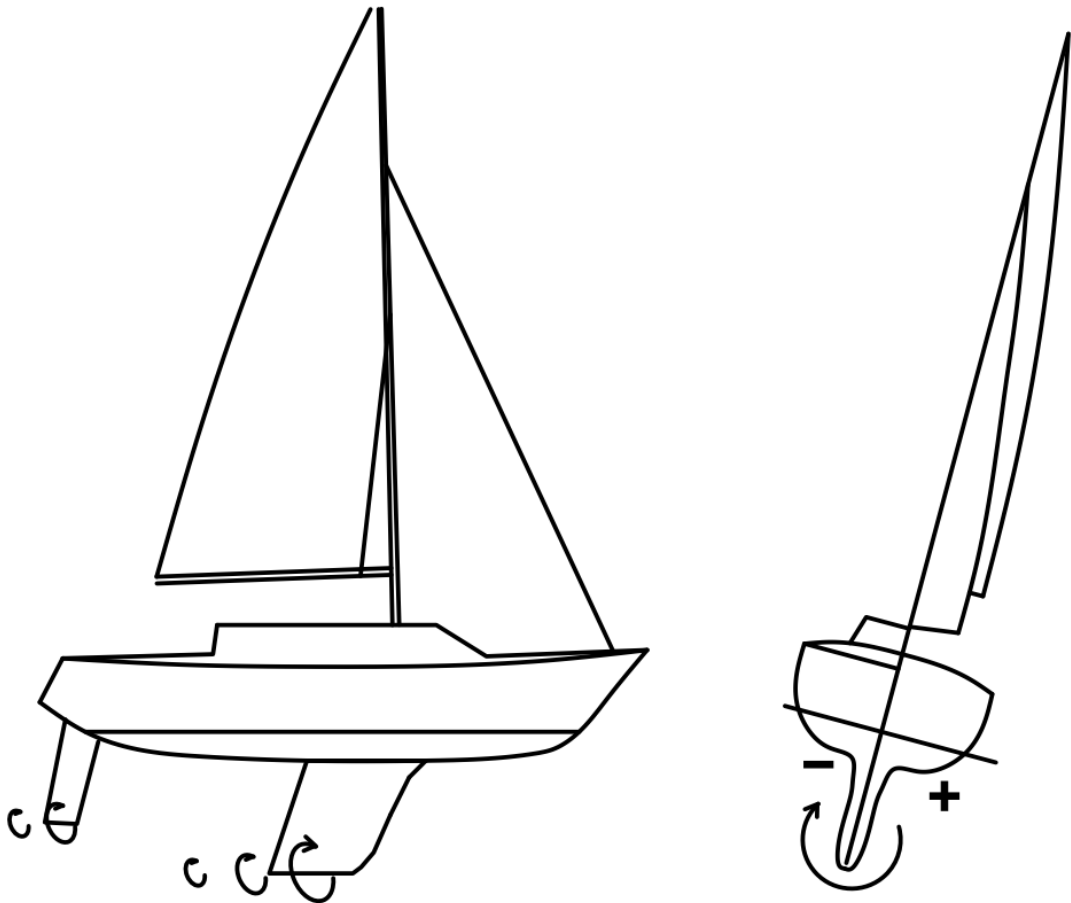
Волновое сопротивление возникает от того, что яхта при движении по воде образует на ее поверхности волны. Затрата энергии на их образование определяет величину волнового сопротивления. С увеличением скорости волновое сопротивление растет примерно пропорционально кубу (а на яхтах с полными обводами – даже четвертой степени) скорости. Поэтому для водоизмещающих яхт (и водоизмещающих судов вообще) существует предел скорости, выше которого разогнать яхту невозможно – для небольшого увеличения скорости требуется огромная мощность (эту скорость называют предельной скоростью корпуса, примерно она равна $v_s \approx 2,8 \sqrt{L}$, что для яхты длиной 10 м составляет чуть меньше 9 уз). Единственный способ преодолеть этот барьер – вывести судно из воды на ее поверхность, т.е. перейти в режим глиссирования (скольжения по поверхности).



Сопротивление формы объясняется возникновением завихрений при обтекании корпуса водой, которые образуются на участках корпуса с большой кривизной (с резким изменением формы), а также около выступающих частей. У хорошо спроектированных яхт сопротивления формы почти нет.

У яхт с транцевой кормой основную долю сопротивления формы составляет сопротивление погруженного транца. (см. рис.) Его можно заметно уменьшить, загрузив нос и приподняв транец из воды.

Индуктивное сопротивление – часть сопротивления формы, вызванная образованием вихрей на кромках киля и руля (подробнее об этом в разделе «теория паруса»). Индуктивное сопротивление вызвано сопротивлением яхты дрейфу и зависит от формы киля и руля.



Дополнительное сопротивление яхты при качке.

Воздушное сопротивление – сопротивление трения, формы, индуктивное сопротивление корпуса, рангоута, парусов, экипажа. Для него справедливы все те же слова, кот. сказаны про сопротивление воды; в воздухе нет только волнового сопротивления.

Управляемость

Управляемость – способность суда сохранять курс при неподвижном руле и неизменных настройках парусов, и менять курс (приводиться, уваливаться, поворачивать) под действием руля и изменении в настройках.

Подробнее об управляемости в разделе «теория паруса»

ТЕОРИЯ ПАРУСА

Теория паруса – часть гидромеханики – науки о движении жидкости. Газ (воздух) на дозвуковой скорости ведет себя точно так же, как

жидкость, поэтому все, что говорится здесь о жидкости, в равной степени относится к газу.

Основной закон гидромеханики – закон Бернулли:

$$p_{\text{ст}} + \rho v^2/2 = \text{Const}$$

В потоке жидкости сумма статического давления и скоростного напора – величина постоянная.

На рис. 11 показаны скорости обтекания крыла и силы, возникающие на крыле в потоке жидкости.

ОХ – вдоль потока, ОУ – перпендикулярно потоку, ох – вдоль хорды крыла, оу – перпендикулярно хорде. α – угол между направлением набегающего потока и хордой крыла – угол атаки.

V_0 – скорость набегающего потока, p – статическое давление.

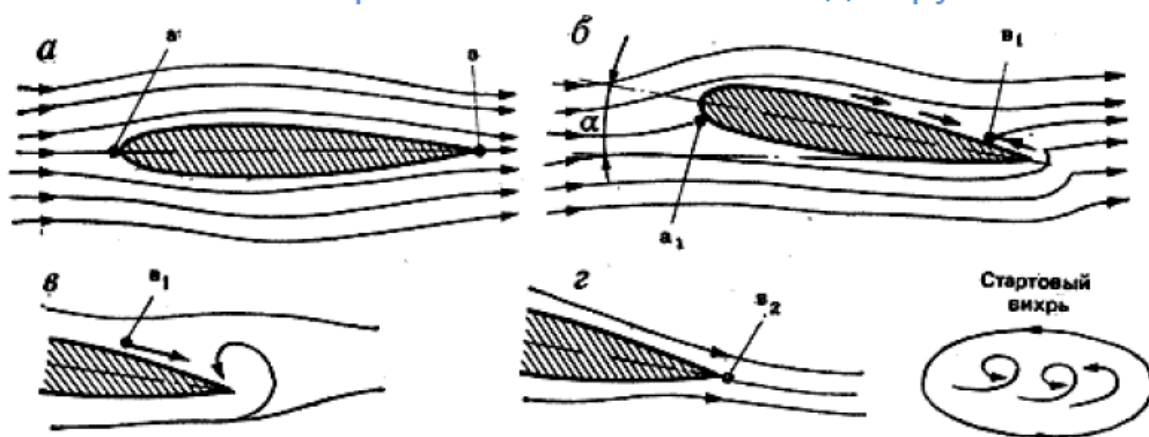
$Y = C_y \rho v^2/2$ – подъемная сила,

$X = C_x \rho v^2/2$ – сила сопротивления.

На рис. 11 (а, д) – симметричное обтекание крыла. Из-за сужения потока в r -не крыла поток ускоряется, скоростной напор растет, давление падает. На носике и хвостике крыла скорость $v=0$, поэтому давление максимально.

На рис. 11 (б - е) – несимметричное обтекание. На обеих сторонах крыла поток ускоряется, но на верхней (засасывающей) поверхности – значительно больше, чем на нижней (нагнетающей). Поэтому результирующая сила направлена вверх.

Задняя точка, где скорость $v=0$, находится на засасывающей поверхности крыла. В результате возникает перетекание жидкости с нагнетающей поверхности на засасывающую, образуется концевой вихрь (рис. 11 в,г).



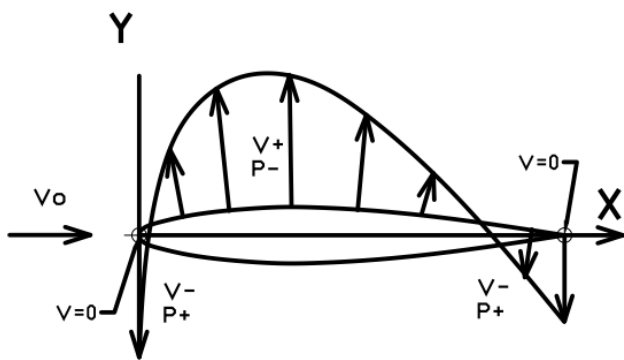


Рис. 11 (д)

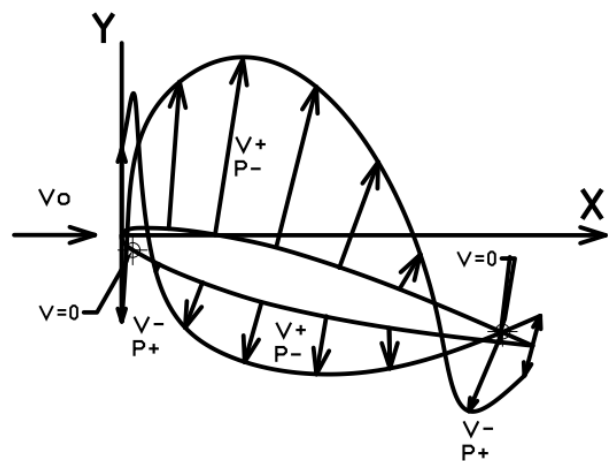


Рис. 11 (е)

При большом угле перекалки на нижней, нагнетающей, поверхности вообще может не быть зоны разрежения (рис. 12). При этом по всей засасывающей поверхности скорость потока больше, чем на бесконечности, а на нагнетающей – меньше, как будто бы вокруг крыла существовал циркуляция потока, ускоряющая поток на засасывающей поверхности, и замедляющая на нагнетающей (рис. 12 д). Представление крыла в виде вихря (циркуляции) используется для мат. расчетов. Физически никакой циркуляции потока вокруг крыла нет.

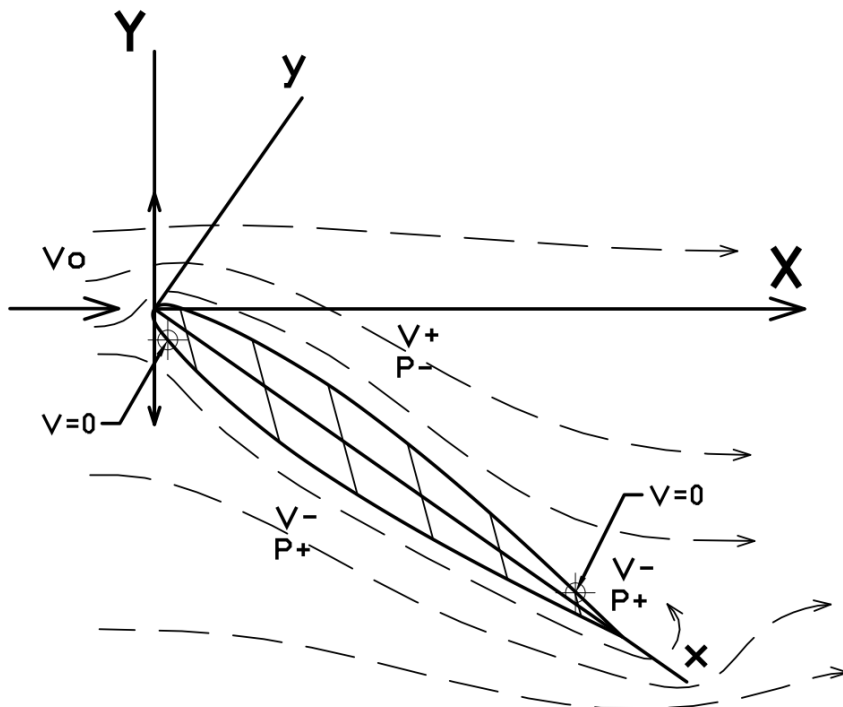


Рис. 12 (а)

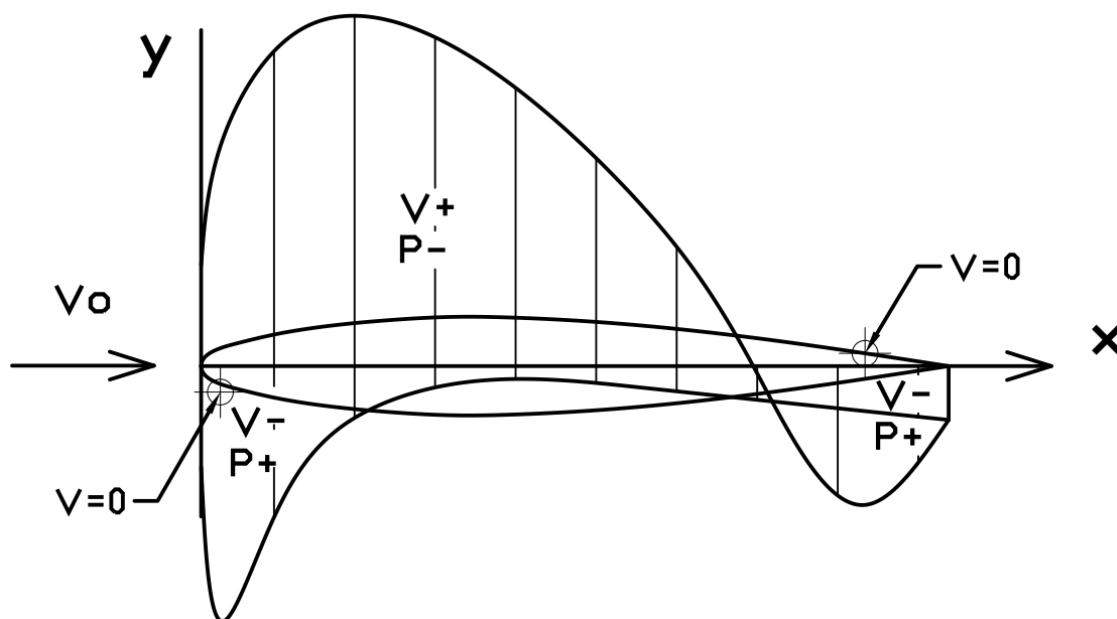


Рис. 12(б)

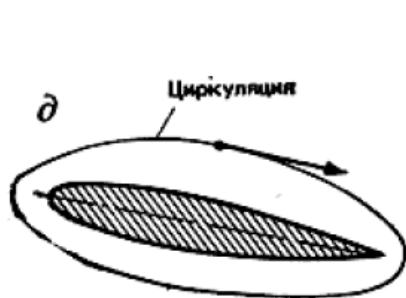


Рис 12 (д)

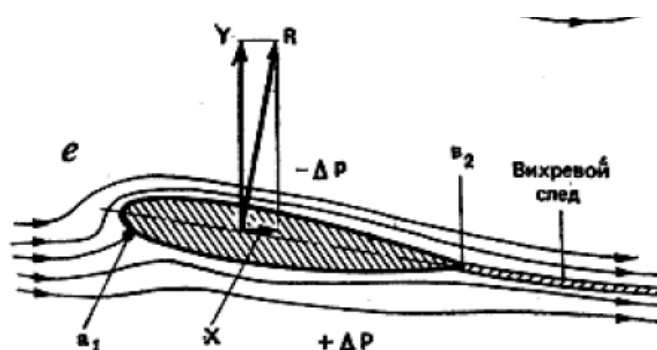


Рис 12 (е)

В среднем сила, возникающая на крыле, направлена примерно перпендикулярно хорде, и приложена на расстоянии примерно $\frac{1}{4}$ хорды от носика (рис 12 (е)).

Поляры крыла.

Коэффициенты подъемной силы и сопротивления C_x и C_y зависят от формы крыла и от угла атаки. Если менять угол атаки, и для каждого угла атаки по оси X откладывать значение C_x , а по оси Y – C_y , то получится кривая, называемая поларой крыла (рис. 13).

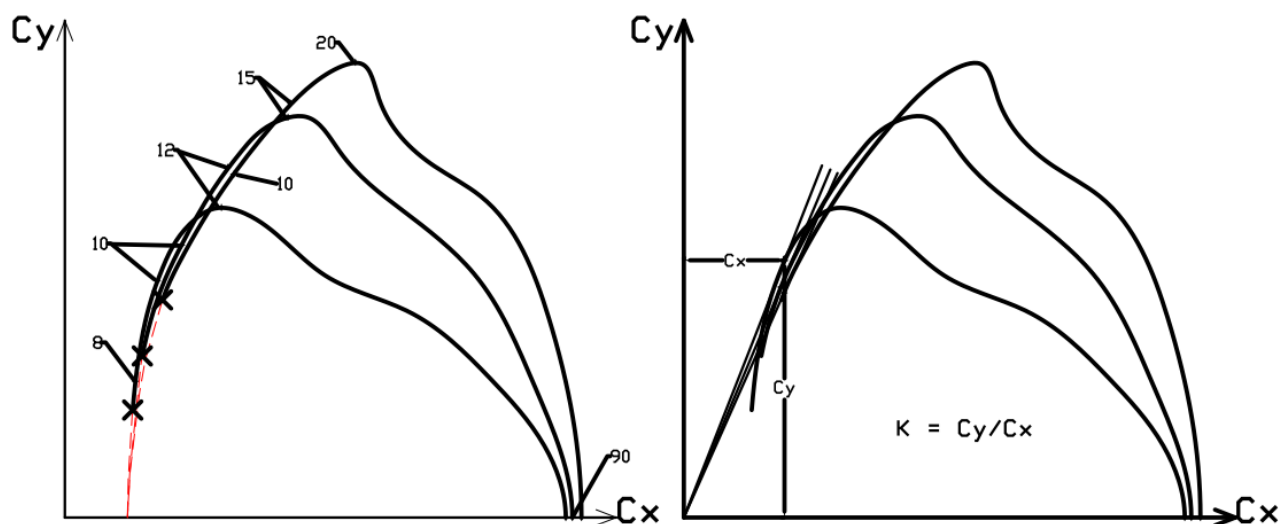


Рис. 13 (а)

Рис. 13 (б)

Характерные точки поляры:

При $\alpha=0$ и $\alpha=90$ $C_y=0$, $C_x \neq 0$ (рис. 13 а).

Точки наибольшего качества: $C_y/C_x = \max$ (точки касания поляры и луча, проведенного из 0-0). (рис. 13 б)

Точки срыва потока (критический угол атаки) – точки максимума C_y .

Парус – это несимметричное абсолютно тонкое крыло. Кривизна профиля = пузо паруса = f . Для такого крыла существует понятие угла атаки безударного входа, когда вблизи ведущей кромки не возникает подъемная сила (рис. 14). Кроме того, парус – не жесткое крыло. Поэтому при угле атаки, меньшем безударного, парус теряет форму (заполаскивает), и подъемная сила резко падает (пунктирные линии на рис. 13). На парусе безударный вход виден по легкому дрожанию паруса у передней шкаторины.

Чем больше пузо паруса, тем больше $C_{y\max}$, и тем больше угол атаки, при котором он достигается (больше критический угол атаки).

Поляру можно использовать для оценки силы тяги и силы дрейфа, действующих на яхту (рис. 15). Проекция силы на парусе на курс яхты – сила тяги (T), на перпендикуляр к курсу – сила дрейфа (D). Чем больше пузо, тем больше сила тяги, но одновременно и сила дрейфа.

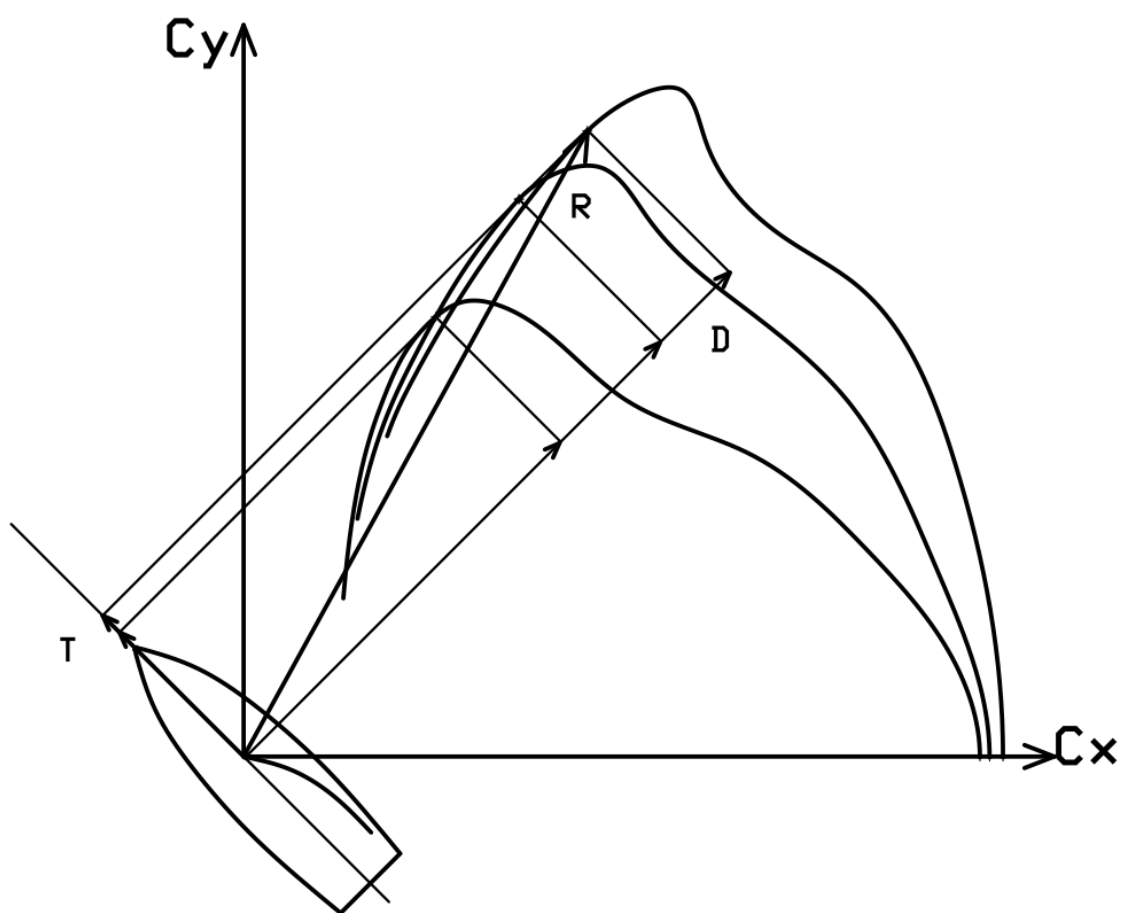


Рис. 15

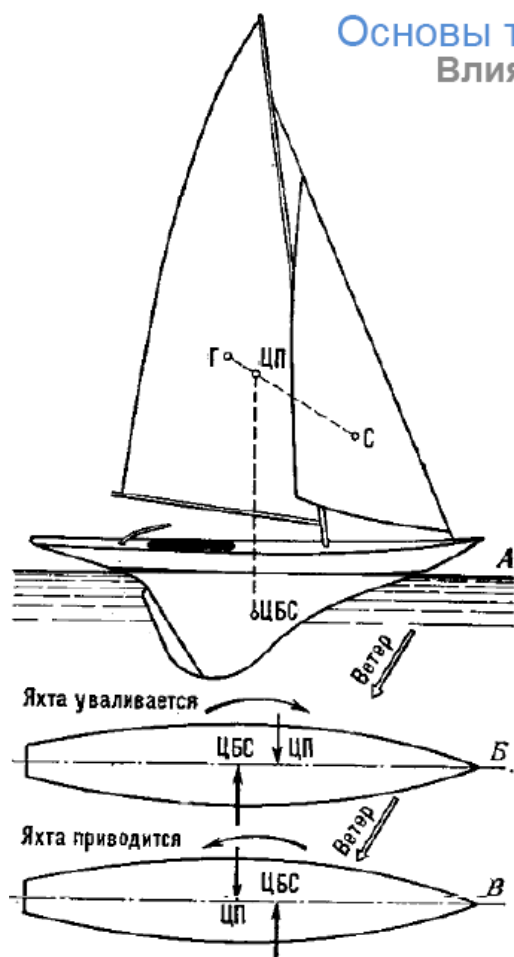
Парус на яхте. Центровка яхты

На движущейся яхте сила тяги парусов уравнивается силой сопротивления, вращающий момент, создаваемый парусами – моментом на киле и руле.

Обычно условие равновесия яхты иллюстрируют такой картинкой:

Основы теории яхты и плавания под парусами

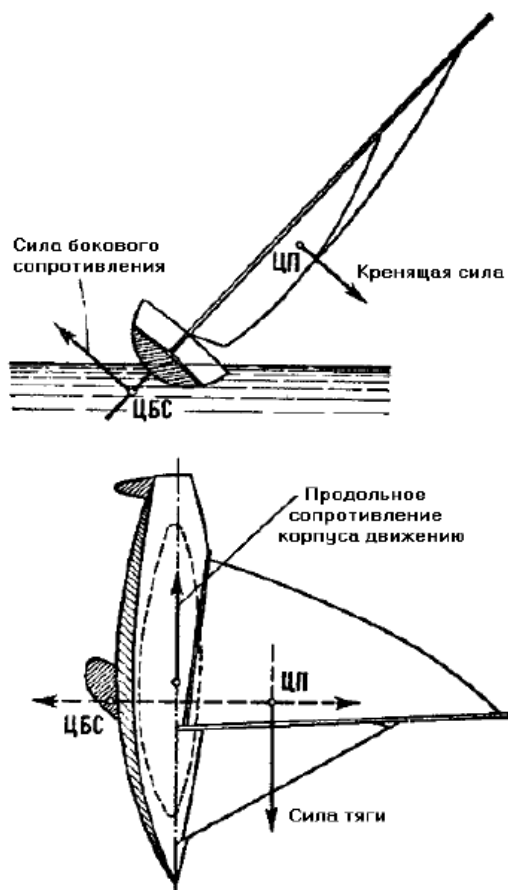
Влияние взаимного расположения ЦП и ЦБС на управляемость яхты.



Силе дрейфа, приложенной в центре парусности, противодействует сила бокового сопротивления корпуса яхты. Силу бокового сопротивления считают приложенной в **центре бокового сопротивления (ЦБС)**. Центром бокового сопротивления называется центр тяжести проекции подводной части яхты на диаметрально плоскость. Когда яхта идет без крена ЦП должен лежать на одной вертикальной прямой с ЦБС. Если ЦП лежит впереди ЦБС, рис. б, то сила дрейфа, смещенная вперед относительно силы бокового сопротивления, поворачивает нос судна под ветер — яхта **уваливается**. Если ЦП окажется позади ЦБС, яхта станет поворачиваться носом к ветру, или **приводиться**, рис. в. Приведение к ветру или уваливание вредны для хода яхты, так как заставляют рулевого все время работать рулем, чтобы сохранить прямолинейность движения, а это увеличивает сопротивление корпуса и снижает скорость.

Основы теории яхты и плавания под парусами

Влияние взаимного расположения ЦП и ЦБС на управляемость яхты.



при крене точки приложения силы тяги парусов и силы продольного сопротивления корпуса оказываются лежащими в разных вертикальных плоскостях, получается как бы рычаг, заставляющий яхту приводиться. Чем больше крен, тем больше склонность судна приводиться. Чтобы ликвидировать такое приведение, ЦП помещают впереди ЦБС. Возникающий с креном момент силы тяги и продольного сопротивления, заставляющий яхту приводиться, компенсируется уваливающим моментом сил дрейфа и бокового сопротивления при переднем расположении ЦП. Для хорошей центровки приходится ЦП помещать впереди ЦБС на расстоянии, равном 10—18% длины яхты по ватерлинии. Чем менее устойчива яхта и чем выше поднят ЦП над ЦБС, тем больше в нос надо его передвигать.

Неправильная центровка приводит к ухудшению управляемости или к ее полной потере.

На этих картинках и в тексте неверно все, кроме последних фраз – что перекладка руля и неправильная центровка замедляют скорость.

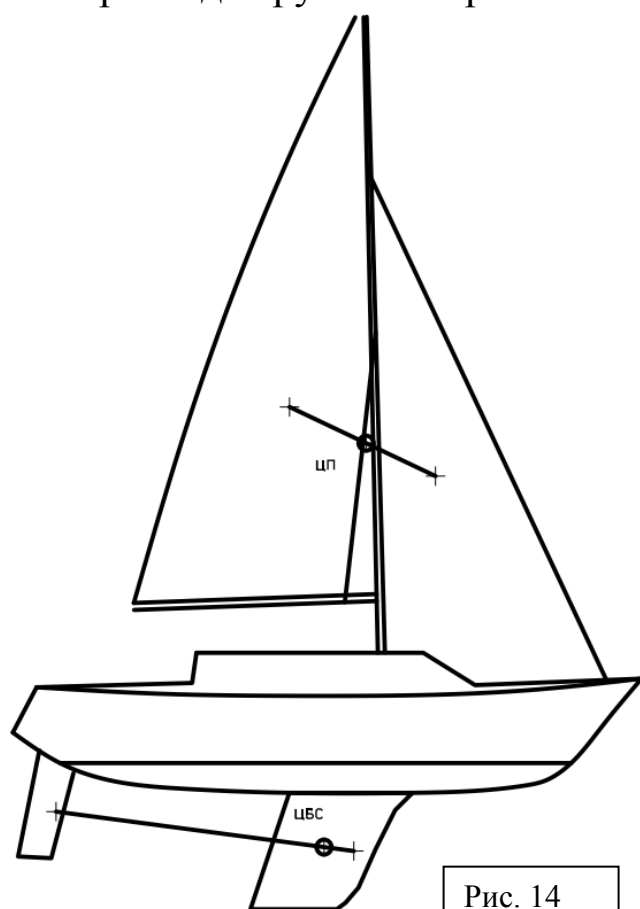


Рис. 14

На первом рисунке предполагается, что сила тяги паруса приложена в геометрическом центре парусности, а сила сопротивления дрейфу – в центре бокового сопротивления. На самом деле это не так: только что (в разделе «теория крыла») говорилось, что гидродинамические силы приложены примерно в $\frac{1}{4}$ хорды крыла от носика. Но этого мало: - - современные яхты имеют плоские корпуса, которые сами не создают бокового сопротивления (рис. 14). Кроме того, руль

находится в потоке, скошенном килем, поэтому его угол атаки намного меньше, чем у кия. Поэтому при не переложенном руле подъемная сила на нем намного меньше, чем если бы он работал изолированно.

Рис. 19а – сила на парусе уравновешена силой на киле, руль находится во флюгерном положении.

Рис. 19б – из-за увеличения крена точка приложения силы на парусе смещается за борт, возникает приводящий момент. Для его компенсации необходимо перекалывать руль на увал. На руле возникает подъемная сила, кот. частично разгружает киль; угол дрейфа уменьшается.

Рис. 19в – из-за уменьшения крена точка приложения силы на парусе смещается к ДП, возникает уваливающий момент. Для его компенсации необходимо перекалывать руль на привод. На руле возникает подъемная сила, направленная под ветер, угол дрейфа увеличивается.

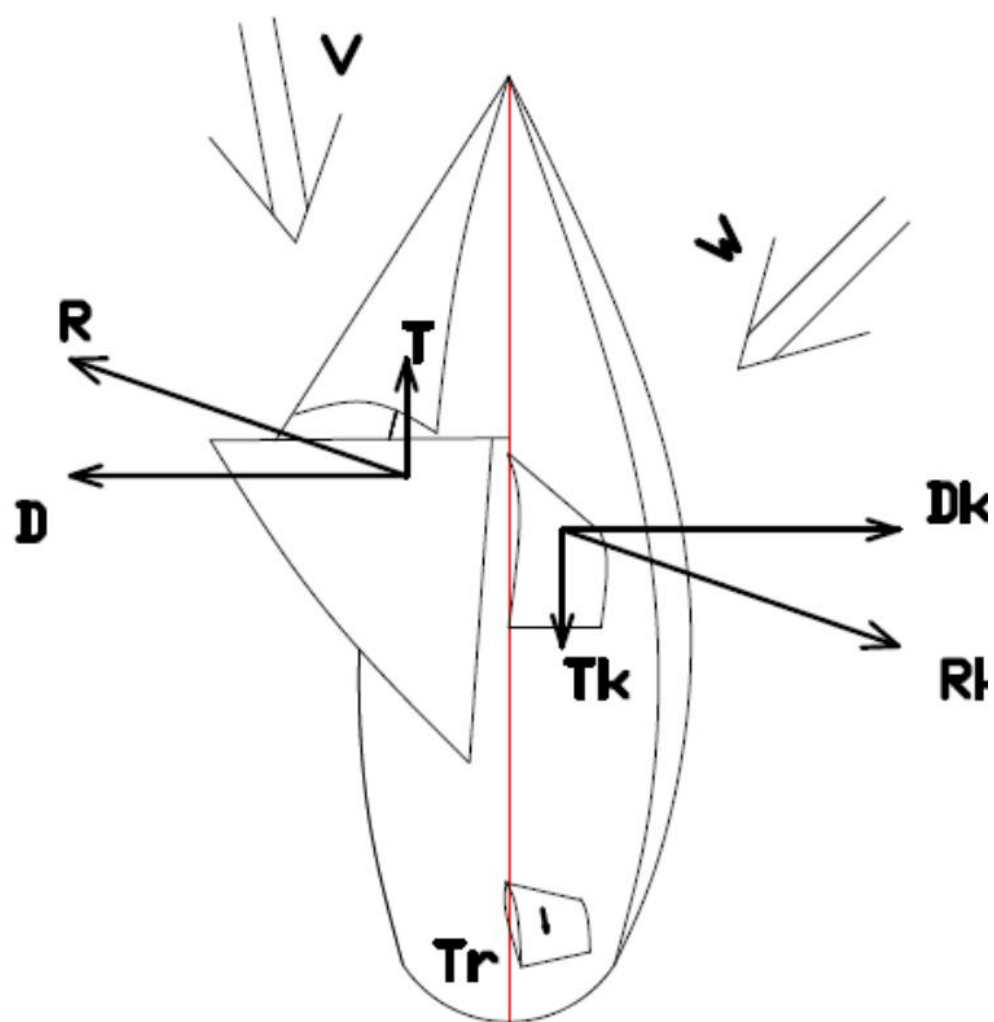


Рис. 19а

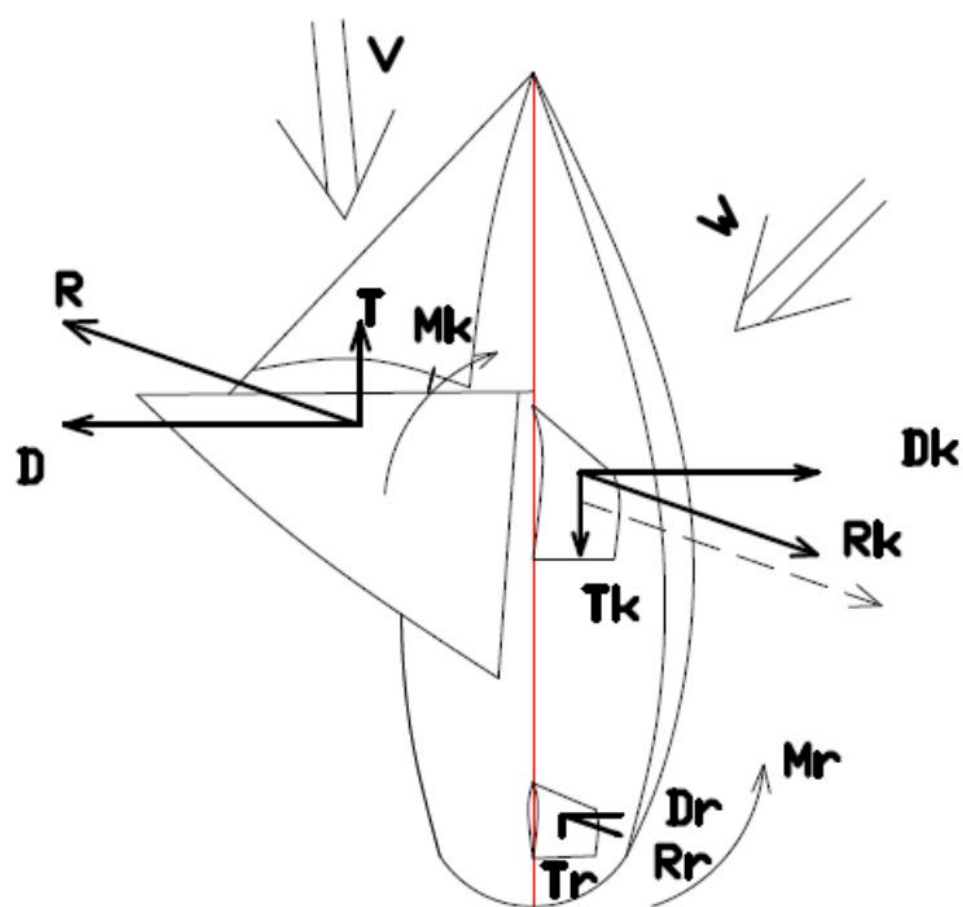


Рис. 196

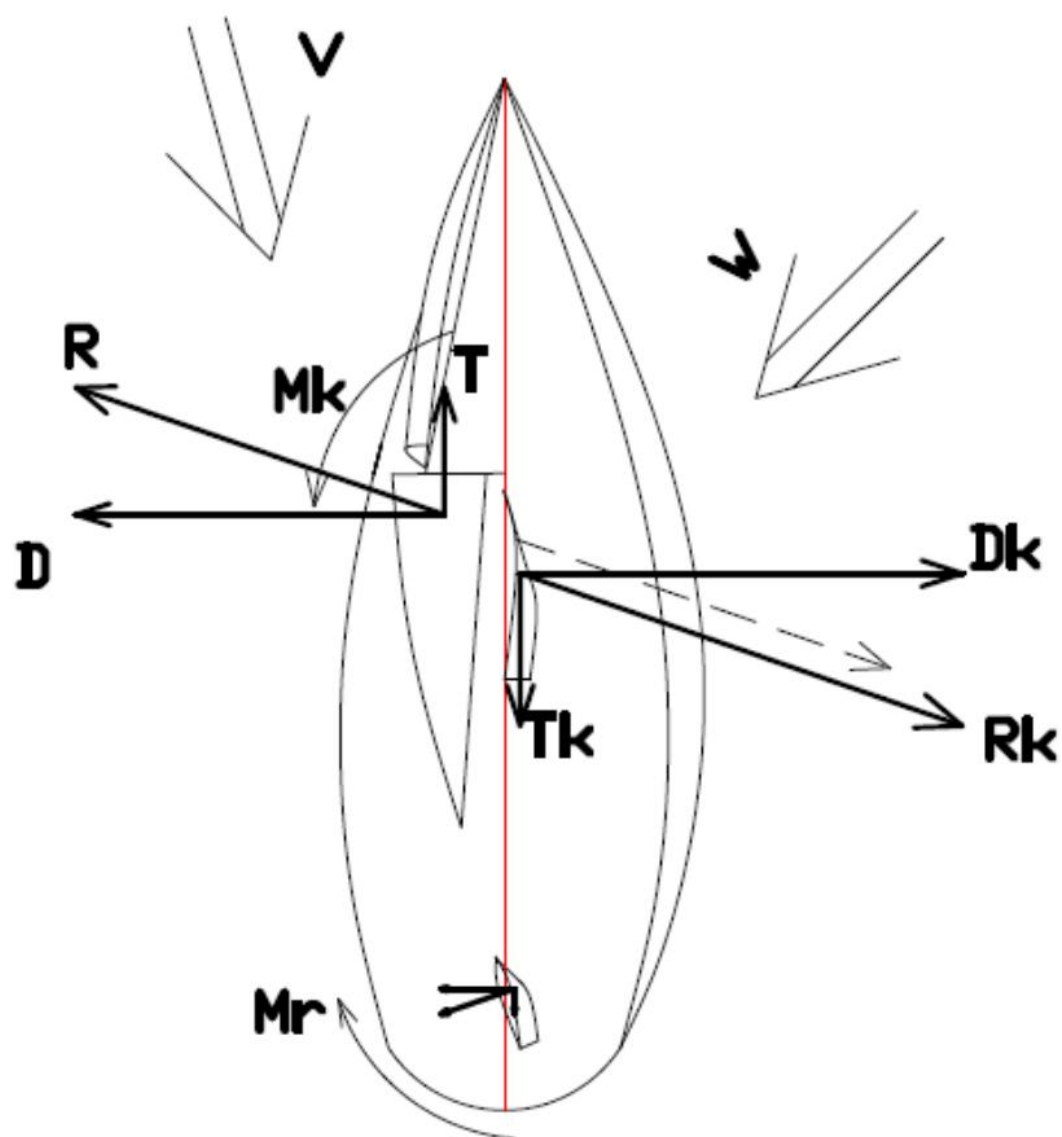


Рис. 19в