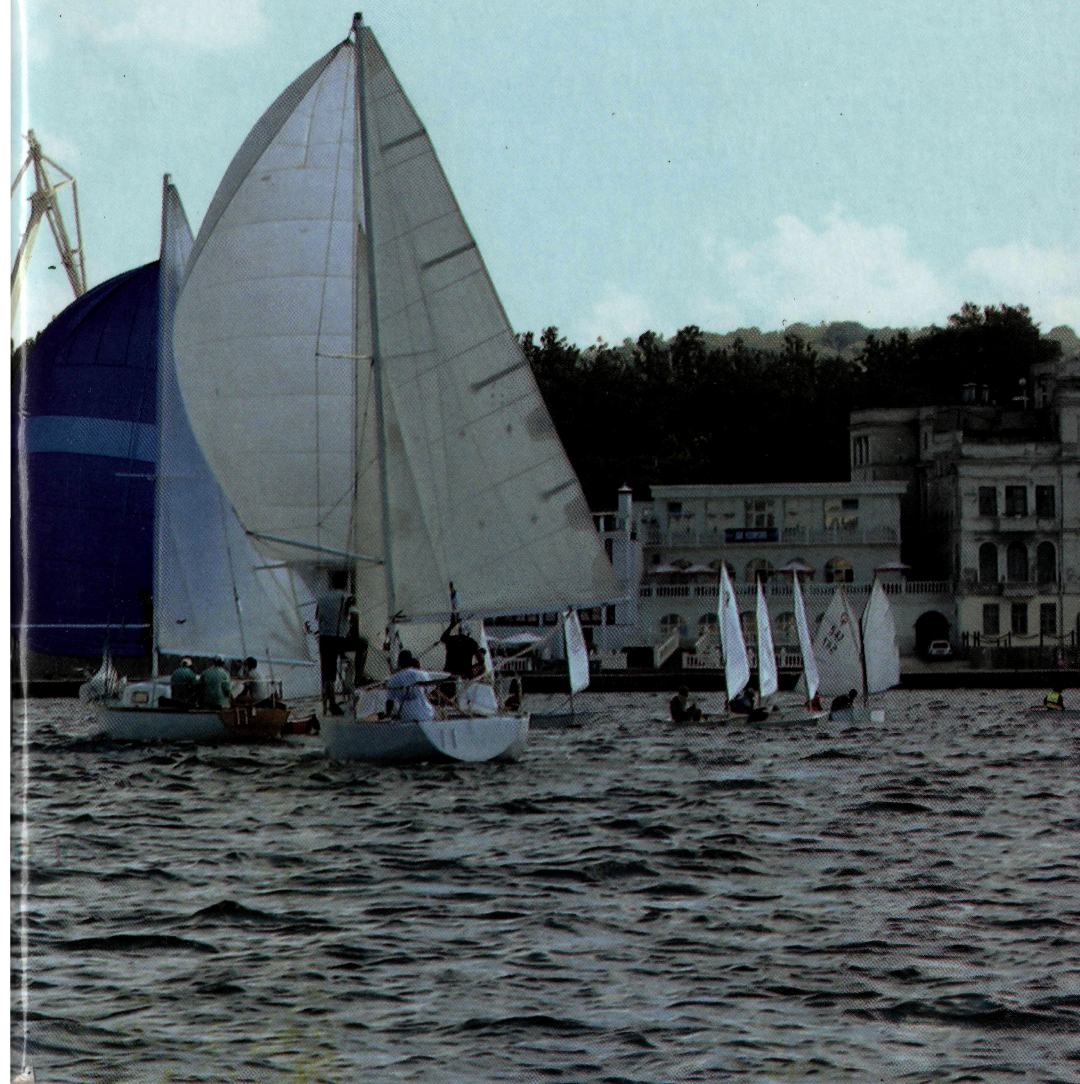


Рюрик Акимов

# ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ ДЛЯ ЯХТСМЕНОВ И КАПИТАНОВ КАТЕРОВ



ПАРУСНАЯ ФЕДЕРАЦИЯ СЕВАСТОПОЛЯ

---

Рюрик Акимов

**ТЕОРИЯ КОРАБЛЯ  
ДЛЯ ЯХТСМЕНОВ  
И КАПИТАНОВ КАТЕРОВ**

Севастополь  
2006

ББК 39.425.6  
А 391  
УДК 629.125.12

*Автор выражает глубокую признательность за поддержку в работе и помощь в издании этой брошюры мастеру спорта по парусному спорту Александру Евгеньевичу Вирченко.*

**Акимов Ю.Н.**

А 391 Теория корабля для яхтсменов и капитанов катеров/Ю.Н. Акимов: учебное пособие – Севастополь: Издатель Кручинин Л.Ю., 2006 – 56 с., ил.

В брошюре дано простейшее описание мореходных качеств парусных яхт и небольших катеров, а также рекомендации по их безопасной эксплуатации.

Брошюра рассчитана на читателей, имеющих законченное среднее образование, и может быть использована в качестве учебного пособия в яхт-клубах и на курсах подготовки судоводителей парусных яхт и катеров.

**Ответственный секретарь издания – Горбачев С.П.  
Компьютерные работы – ИБ «Глория-информ», ЧП Горбачева М.А.**

---

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### Раздел 1. Мореходные качества судна

1. Теоретический чертеж судна .....	5	
2. Главные размерения судна .....	7	
3. Понятие о силе, моменте силы и паре сил .....	8	
4. Понятие о силе веса и центре тяжести .....	9	
Плавучесть		
1. Основные определения .....	9	
2. Запас плавучести .....	10	
3. Непотопляемость .....	11	
Остойчивость .....		12
1. Основные определения .....	12	
2. Поперечная остойчивость .....	13	
3. Признаки остойчивости .....	15	
4. Продольная остойчивость .....	16	
5. Влияние движения грузов по судну на его посадку и остойчивость .....	17	
Управляемость		
1. Основные определения .....	20	
2. Действие руля на судно .....	21	
Ходкость .....		23
Качка		
1. Основные определения .....	25	
2. Элементы волн .....	26	
3. Качка судна на волнении .....	27	
Судовые движители		
1. Основные определения .....	27	
2. Гребной винт .....	28	
3. Совместная работа двигателя и гребного винта .....	30	
4. Конструкции, материалы изготовления и балансировка гребных винтов .....	31	
5. Водомётный движитель .....	32	

**Раздел 2. Гидроаэродинамика парусной яхты**

1. Основные определения .....	35
2. Действие ветра на парус .....	38
3. Центр тяжести площади паруса .....	40
4. Центр парусности .....	41
5. Действие на яхту сил тяги и продольного сопротивления воды .....	44
6. Действие на яхту сил крена и дрейфа, бокового сопротивления воды .....	45
7. Центр бокового сопротивления .....	46
8. Способность яхты нести паруса, центровка яхты .....	46
9. Совместное действие различных пар сил на яхту .....	48
10. Особенности управления парусными шлюпками, швертботами и килевыми яхтами .....	51
Литература .....	55

## Раздел 1. МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДНА

### ВВЕДЕНИЕ

В мореплавании терминами «корабль», «судно» называется плавающее инженерное сооружение, обладающее прочным, водонепроницаемым корпусом и мореходными качествами: плавучестью, непотопляемостью, устойчивостью, управляемостью, ходкостью и плавностью качки.

Мореходные качества судна изучает наука – теория корабля.

Постройка судна производится по проекту, который разрабатывается в соответствии с требованиями технико-экономического задания. В нем содержатся данные, которые должно иметь будущее судно: водоизмещение, грузоподъемность, дальность и район плавания, автономность, мореходные качества и т.д.

При проектировании и постройке судна основное значение имеет его теоретический чертеж.

### 1. Теоретический чертеж

Мореходные качества судна определяются его формой и характеристикой обводов, т.е. внешними очертаниями корпуса. Они имеют сложную форму по длине, ширине и высоте судна и изображаются на его теоретическом чертеже.

При построении теоретического чертежа поверхность судна рассекается тремя взаимноперпендикулярными плоскостями (рис. 1):

1) продольной вертикальной плоскостью, проходящей по середине

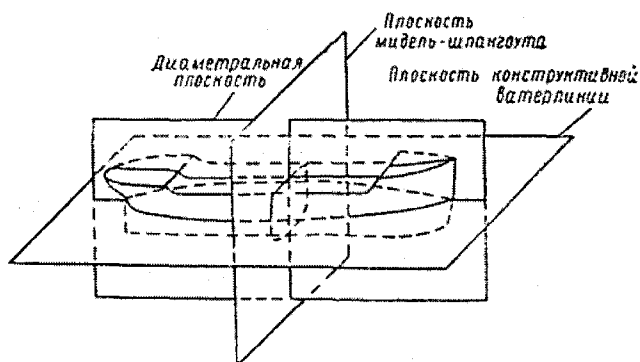


Рис. 1. Основные плоскости проекций теоретического чертежа

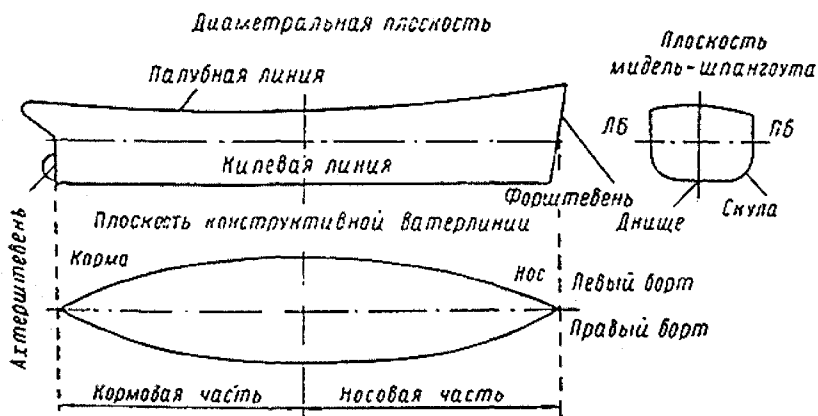


Рис. 2. Сечение судна по основным плоскостям

ширины судна. Эта плоскость называется диаметральной плоскостью (ДП) и является плоскостью симметрии судна;

2) горизонтальной плоскостью, совпадающей со свободной поверхностью спокойной воды при посадке судна на ровный киль. Эта плоскость называется в зависимости от назначения судна плоскостью конструктивной ватерлинии (КВЛ) или плоскостью грузовой ватерлинии (ГВЛ). Она делит судно на подводную и надводную части.

3) поперечной вертикальной плоскостью, проходящей (как правило) по середине судна. Она называется плоскостью миделя (или просто миделем), обозначается знаком  $\otimes$  и делит судно на переднюю носовую и заднюю кормовую части.

На рис. 2 показаны формы обводов судна, полученные сечением его тремя указанными выше плоскостями, и приведены названия частей корпуса судна.

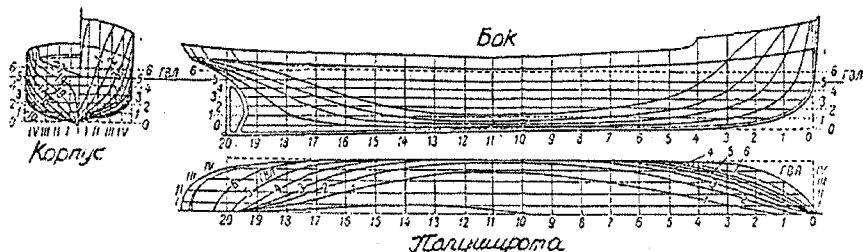


Рис. 3. Теоретический чертеж судна

Наиболее полную характеристику обводов дает теоретический чертеж судна. Для построения этого чертежа поверхность судна рассекается равноотстоящими плоскостями, параллельными трем основным плоскостям: диаметральной, горизонтальной и поперечной вертикальной (рис. 3).

Сечения, параллельные ДП, называются батоксами, сечения, параллельные плоскости миделя, – шпангоутами, а сечения, параллельные горизонтальной плоскости, – ватерлиниями.

Совокупность проекций батоксов, шпангоутов и ватерлиний на ДП называется боком, на мидель – корпусом, на горизонтальную плоскость – полуширотой. Ввиду симметрии судна ватерлинии и шпангоуты вычерчиваются только для одной половины судна. При этом на корпусе судна изображаются половины шпангоутов: справа – носовых, слева – кормовых.

## 2. Главные размеры судна

При расчетах по теории корабля различают следующие главные размеры судна: длину, высоту и осадку. Они определяются по теоретическому чертежу судна и показаны на рис. 4.

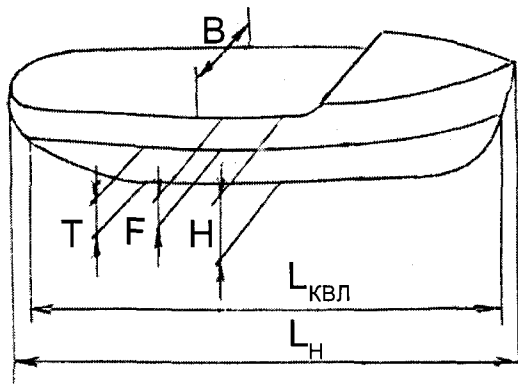


Рис.4. Главные размеры судна

1) Длина наибольшая  $L_n$  – расстояние между крайними точками корпуса по длине.

2) Длина по конструктивной ватерлинии  $L_{квл}$ .

3) Ширина  $B$  – расстояние между наружными кромками шпангоутов.

4) Осадка  $T$  – величина наибольшего погружения корпуса судна с учетом выступающих частей.

5) Высота борта  $H$  – расстояние по вертикали от основной плоскости до бортовой линии верхней палубы, измеренное в плоскости миделя.

Примечание: основная плоскость – нулевая ватерлиния.

6) Высота надводного борта  $F$  – расстояние от плоскости КВЛ до бортовой линии верхней палубы в плоскости миделя.



### 3. Понятие о силе, моменте силы и паре сил

Находящееся в равновесии или в движении судно подвергается действию различных сил и создаваемых ими моментов. Под их влиянием судно плавает, изменяет осадку, перемещается и наклоняется в определенных направлениях, испытывает различные нагрузки и т.д.

#### Сила

Силой называется воздействующее на материальную точку  $A$  усилие, имеющее направление и величину. Сила изображается отрезком определенной длины в масштабе, направленным в сторону ее действия (рис. 5).



Рис. 5. Графическое изображение силы

#### Момент силы

Представим твердое тело (рис. 6), которое может вращаться вокруг неподвижной оси, перпендикулярной к плоскости чертежа и пересекающей эту плоскость в т.  $O$ .

Пусть на это тело действует сила  $P$ , приложенная в т.  $A$ . Такое тело называется рычагом. Эффективность силы, приложенной к рычагу и стремящейся повернуть рычаг вокруг оси вращения, определяется моментом этой силы относительно точки  $O$ . Моментом  $M$  силы  $P$  относительно точки  $O$  называется произведение силы  $P$  на длину перпендикуляра  $OA$ , опущенного из этой точки на линию действия силы, т.е.  $M = P \cdot OA$ . Расстояние  $OA$  данной точки  $O$  от линии действия силы  $P$  называется плечом силы относительно этой точки.

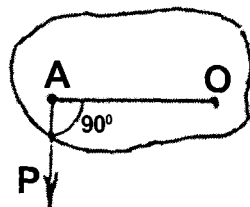


Рис. 6. Момент силы

#### Пара сил

Пусть к телу (рис. 7), имеющему ось вращения в точке  $O$ , приложены две одинаковые по величине и противоположно направленные силы  $P$ . Эти силы образуют пару сил с моментом  $Pa + Pa = P \cdot 2a = P \cdot AB$ .

Под действием этого момента тело будет вращаться вокруг оси, проходящей через точку  $O$ . Расстояние  $AB$  называется пле-

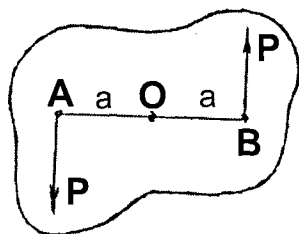


Рис. 7. Пара сил

чем пары и измеряется длиной перпендикуляра, опущенного из точки приложения  $A$  одной из сил на линию действия второй силы в точку  $B$ .

#### 4. Понятие о силе веса и центре тяжести

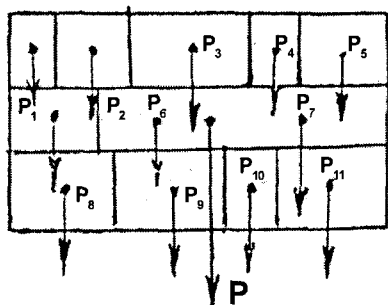


Рис.8. Сила веса тела

Представим себе какое-нибудь твердое тело (рис. 8). На каждую элементарную его частицу действует сила притяжения к земле, направленная по вертикали вниз. Эта сила – вес частицы. Сумма весов всех частиц составляет вес тела  $P$ . Таким образом, сила веса тела  $P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6 + P_7 + P_8 + P_9 + P_{10} + P_{11}$ . Сила веса  $P$  приложена в центре тяжести тела точке  $O$ .

Вес судна складывается из веса отдельных конструкций корпуса, механизмов, устройств, предметов оборудования, запасов, экипажа, а также полезного груза.

Сила веса корабля (судна) приложена в его центре тяжести (ЦТ).

Положение ЦТ судна не является постоянным, так как зависит от перемещения по нему грузов. Это оказывает влияние на мореходные качества судна.

## ПЛАВУЧЕСТЬ

### 1. Основные определения

Плавучесть – способность судна плавать по определенной средней осадке с грузами, назначенными по роду его службы. Плавучесть судна является его основным мореходным качеством.

На находящееся на плаву судно действуют (рис. 9):

1) Сила веса судна  $P$ , которая всегда направлена вертикально вниз при любых его положениях. Эта сила приложена в точке  $G$ , называемой центром тяжести судна (ЦТ).

2) Сила поддержания  $D$ . Она является равнодействующей сил давления воды на

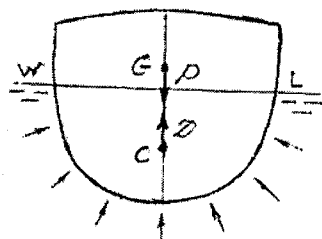


Рис.9. Действие на судно силы веса и силы поддержания

подводную часть судна. Эта сила направлена вертикально вверх и приложена в точке С, называемой центром величины (ЦВ).

По закону Архимеда вес плавающего судна равен весу вытесненной им воды. Таким образом, сила поддержания  $D$  равна весу воды в объеме, вытесняемом судном.

$$D = \gamma \cdot V$$

где:  $V$  – объем погруженной в воду части судна,  $\text{м}^3$ ;

$\gamma$  – удельный вес воды моря,  $\text{т/м}^3$

Объем  $V$  – называется объемным водоизмещением и служит мерой плавучести, а вес воды, вытесняемой этим объемом, называется весом водоизмещения и выражается в тоннах.

Для равновесия судна необходимо, чтобы силы  $P$  и  $D$  были равны и действовали на одной вертикали в противоположные стороны, т.е.  $P = D$  или  $P = \gamma \cdot V$ .

При приеме груза  $P$  на судно его весовое водоизмещение становится равным  $P + p$ . Так как эта сила больше силы поддержания  $D$ , то судно начнет погружаться до тех пор, пока его подводный объем не станет равным  $V + v$ , где  $v$  – приращение водоизмещения, равное объему слоя между грузовой и действующей ватерлиниями. В таком случае, наступит равновесное состояние судна  $P + p = \gamma \cdot (V + v)$ . При этом осадка судна увеличится, а высота надводного борта уменьшится.

При снятии с судна груза сила поддержания  $D$  становится больше силы  $P$ . Поэтому судно начнет всплывать до тех пор, пока не наступит равенство сил веса и поддержания. Вследствие этого осадка судна уменьшится, а высота надводного борта увеличится.

## 2. Запас плавучести

Запас плавучести судна – объем его надводной части от конструктивной ватерлинии до верхней водонепроницаемой палубы. Величина

этого объема определяется выражением  $S \cdot H$ , где  $S$  – площадь конструктивной ватерлинии,  $\text{м}^2$ ,  $H$  – высота надводного водонепроницаемого борта, м (рис. 10).

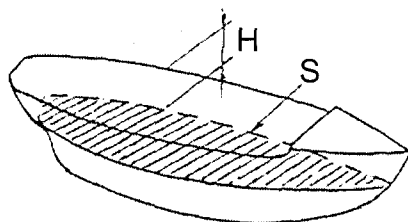


Рис. 10. Запас плавучести

Запас плавучести судна тем больше, чем выше его надводный водонепроницаемый борт (далее борт).

Минимальная высота борта на крупных транспортных судах устанавливается нанесением на их борта грузовых марок. Грузовая марка определяет допустимую осадку судна для различных районов и условий плавания.

На малых судах высота борта указывается в их формулярах. У катеров высота борта должна составлять не менее 6% на миделе и в носу 10% от длины корпуса. На каждом катере, шлюпке имеются таблицы их грузоподъемностей, которые превышать нельзя во избежание уменьшения высоты борта.

Высота борта судна может изменяться при нарушении его водонепроницаемости. Это возможно при столкновениях, посадках на мель, пожарах и т.д. Каждая пробоина в борту, в зависимости от ее расположения, уменьшает запас плавучести судна. Наибольшую опасность для судна представляют пробоины в районе ватерлинии. При их возникновении судно лишается запаса плавучести.

### 3. Непотопляемость

Непотопляемостью судна называется его способность частично сохранять свои мореходные качества при затоплении отдельных помещений.

Конструктивно непотопляемость судна обеспечивается разделением внутреннего его пространства корпуса на отсеки установкой поперечных водонепроницаемых переборок, применением воздушных ящиков, пенопластовых блоков плавучести и надувной мебели. Эти устройства ограничивают количество воды, поступающей при аварии в корпус судна, что позволяет частично сохранить его запас плавучести.

Непотопляемость судна во многом зависит от соблюдения его экипажем требований хорошей морской практики. Так, экипаж обязан постоянно следить за водонепроницаемостью корпуса, переборок, люков, дверей, иллюминаторов, донной арматуры и содержать трюм сухим. При плавании в сложных гидрометеорологических условиях судно герметизировать. Нести паруса по силе ветра и выбирать наиболее безопасные курсы и скорости хода, чтобы не допускать заливания или опрокидывания судна. Если это произошло и судно осталось на плаву, немедленно стать на якорь и быстро удалить воду из корпуса судна.

## ОСТОЙЧИВОСТЬ

### 1. Основные определения

Остойчивостью называется способность судна, выведенного действием внешних сил из положения равновесия, возвращаться к нему после прекращения этого действия.

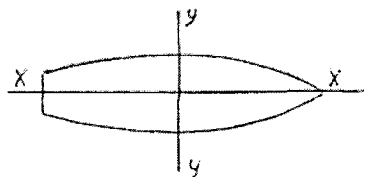


Рис.11. Оси поперечного и продольного наклона судна

Положение судна относительно поверхности спокойной воды называется посадкой. Она характеризуется различными положениями судна. Наклонение судна в поперечной плоскости относительно оси  $X - X$  (рис. 11) называется креном. Угол крена обозначается буквой  $\theta$  (рис. 12).

Наклонение судна в продольной плоскости относительно оси  $Y - Y$  называется дифферентом. Угол дифферента обозначается буквой  $\Psi$  (рис. 13).

На практике дифферент оценивают величиной разности между осадками судна носом и кормой. Если осадка кормой меньше осадки носом, то судно имеет дифферент на нос. Если осадка кормой больше осадки носом, то судно имеет дифферент на корму.

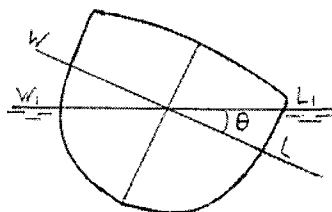


Рис.12. Крен

Причинами наклонения судна может быть давление воды на руль, удар волны, давление ветра на корпус или парус, натяжение буксирного троса, перемещение груза по судну и т.д.

В зависимости от вида наклонения судна его состояние оценивается поперечной или продольной остойчивостью. Различают остойчивость статическую и динамическую. Если судно наклоняется медленно, то

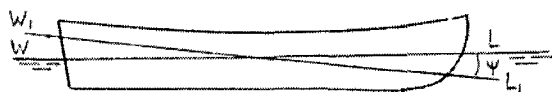


Рис.13. Дифферент

такая остойчивость называется статической. Если судно наклоняется рывком и при этом на значительный угол,

то такая остойчивость называется динамической. Наклонение рывком особенно опасно для парусных судов при шквалах с подветра.

## 2. Поперечная остойчивость

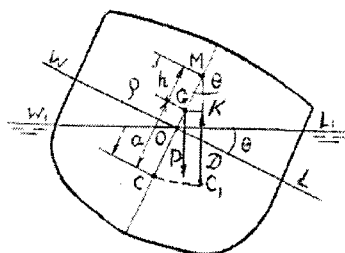


Рис.14. Наклонение судна под влиянием внешней силы

При поперечном наклонении судна (рис. 14) его центр тяжести (ЦТ) остается на месте, так как при этом не происходит перемещения грузов по судну. Объем погруженной части судна сохраняется, но изменяет свою форму. Это происходит в связи с тем, что из воды выходит клин  $WOW_1$  и в воду погружается равный ему по объему клин  $L_1OL$ .

Вследствие изменения формы подводного объема его центр тяжести перемещается из своего начального положения  $C$  в сторону наклона в точку  $C_1$ .

Продолжим линию сил поддержания  $D$  до ее пересечения с ДП в точке  $M$ . Эта точка называется главным поперечным метацентром и является центром кривизны кривой  $CC_1$ , по которой перемещается ЦВ судна при его наклонении.

Возвышение метацентра  $M$  над центром тяжести  $G$  – отрезок  $MG$  называется поперечной метацентрической высотой и обозначается  $h$ .

Отрезок  $CM$  называется главным поперечным метацентрическим радиусом и обозначается буквой  $\rho$ .

Возвышение ЦТ над ЦВ обозначается буквой  $a$ .

Сила веса  $P$ , приложенная в т.  $G$ , и сила поддержания  $D$ , приложенная в т.  $C$ , параллельны друг другу, но не лежат на одной вертикали. Поэтому эти силы образуют пару сил с плечом  $GK$ , где точка  $K$  – основание перпендикуляра, опущенного из точки  $G$  на направление силы поддержания. Момент этой пары называется восстанавливающим моментом и обозначается  $M_{\text{восст.}}$ .

Для определения величины  $M_{\text{восст.}}$  найдем плечо пары – отрезок  $GK$ . Из  $\triangle MGK$  имеем:  $\frac{GK}{MG} = \sin \theta$  или  $GK = M \cdot G \cdot \sin \theta$  (угол  $GK$  равен углу  $L_1OL$ , так как их стороны взаимноперпендикулярны).

$$M_{\text{восст.}} = P \cdot GK = P \cdot MG \cdot \sin \theta, \text{ но } MG = h$$

$$\text{Так как } h = \rho - a, M_{\text{восст.}} = P(\rho - a) \sin \theta \text{ или}$$

$$M_{\text{восст.}} = P \cdot \rho \cdot \sin \theta - P \cdot a \cdot \sin \theta$$

Выражение  $P \cdot \rho \cdot \sin \theta$  называется остойчивостью формы, так как появляется в результате изменения формы погруженного объема судна. Его величина зависит от  $\rho$ .

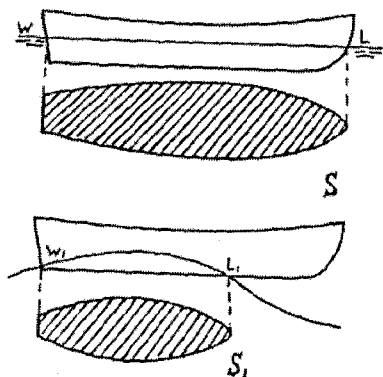


Рис.15. Уменьшение площади действующей ватерлинии судна вследствие его нахождения на

последнем случае у судна возникает площадь действующей волновой ватерлинии  $S_1$ , которая оказывается значительно меньше площади действующей ватерлинии  $S$  на спокойной воде. Эти обстоятельства могут вызвать частичную или полную утрату судном поперечной остойчивости.

Выражение  $P \cdot a \cdot \sin \theta$  называется остойчивостью веса, так как его множителями являются вес судна и величина  $a$  – возвышение ЦТ над ЦВ.

Увеличение остойчивости судна может быть достигнуто увеличением остойчивости формы за счет изменения обводов корпуса или же уменьшением остойчивости веса.

Уменьшение остойчивости веса достигается низким расположением ЦТ (рис. 16). При этом происходит изменение величины  $a$  от положительного до отрицательного значения. Вследствие этого изменяется и величина остойчивости веса от отрицательного до положительного значения (таблица 1).

Этот способ (позиция III рис.16) применяется на килевых яхтах, где

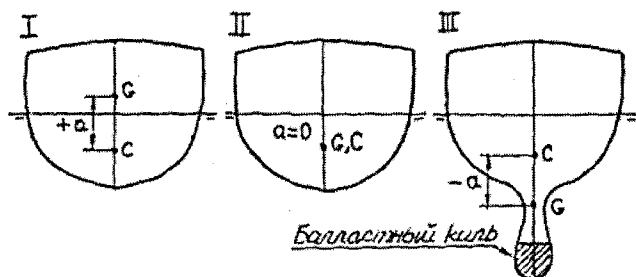


Рис.16. Изменение расстояния между центром тяжести и центром величины при вертикальном перемещении груза

Таблица 1

Позиции на рис. 16	Взаимное расположение ЦТ и ЦВ	Значение величины $a$	Величина остойчивости веса	Величина поперечной остойчивости судна
I	ЦТ выше ЦВ	$+a$	$-c \cdot a \sin \theta$	наименьшая
II	ЦТ совмещен с ЦВ	0	0	увеличена
III	ЦТ ниже ЦВ	$-a$	$+c \cdot a \cdot \sin \theta$	наибольшая

за счет низкого расположения тяжелого балластного килля достигается их большая поперечная остойчивость. Иногда с целью увеличения поперечной остойчивости и улучшения посадки катеров на них устанавливают постоянный балласт, расположенный в трюме.

### 3. Признаки остойчивости

В зависимости от расположения поперечного момента  $M$  и центра тяжести  $G$  судна восстанавливающий момент  $M_{\text{восст.}}$  может быть положительным, отрицательным или равным нулю. Если поперечный метациентр  $M$  выше центра тяжести  $G$ , то  $M_{\text{восст.}}$  и поперечная метацентрическая высота положительны, а судно остойчиво (рис. 17а).

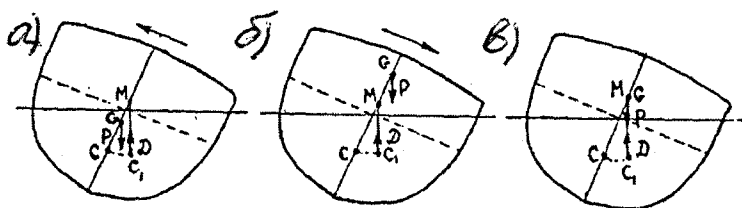


Рис.17. Различные случаи расположения центра тяжести и центра величины при крене

Если поперечный метациентр  $M$  ниже центра тяжести  $G$ , то  $M_{\text{восст.}}$  и поперечная метацентрическая высота отрицательны, а судно неустойчиво (рис. 17б). Если поперечный метациентр  $M$  и центр тяжести  $G$  совпадают, то из-за отсутствия пары сил судно считается неустойчивым, так как будет занимать безразличное положение (рис. 17в).

Поперечная метацентрическая высота служит мерой поперечной остойчивости судна. Чем она больше, тем остойчивее судно. Однако большая поперечная метацентрическая высота обуславливает резкую качку, так как является рычагом, за который волна раскачивает судно. В связи



с этим можно по поведению судна на волнении оценить его остойчивость. Так, при незначительном волнении остойчивое судно заметно раскачивается, а недостаточно остойчивое неподвижно или имеет очень плавную качку.

Следует помнить, что высота надводного водонепроницаемого борта определяет предельный угол крена, при котором судно теряет остойчивость. При одинаковых углах крена, когда палуба входит в воду, судно с большей высотой надводного борта будет более остойчиво, чем низкобортное. Это вызвано тем, что при входе в воду палубы низкобортного судна форма объема его подводной части больше не изменяется и центр величины не смещается в сторону крена. Поэтому исчезает плечо положительной и возникает плечо отрицательной пары сил, которая опрокидывает судно.

#### 4. Продольная остойчивость

Пусть судно под действием внешнего момента получило продольное наклонение на угол  $\Psi$  и сохранило свое водоизмещение. При этом центр величины из точки  $C$  переместится в точку  $C_1$ . Центр тяжести  $G$  останется

в неизменном положении, так как вес судна  $P$  от наклонения не изменился (рис. 18).

В наклонном положении судна сила веса  $P$  и сила поддержания  $D$  образуют пару сил с плечом  $GK$ , стремящуюся вернуть судно в исходное положение, как только внешний момент прекратит свое действие.

Пересечение направления силы поддержания в прямом и наклонном положениях

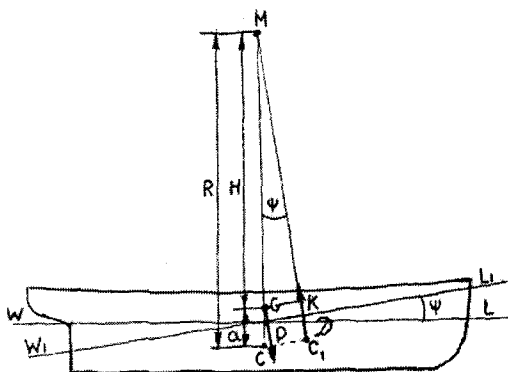


Рис.18. Продольное наклонение судна под влиянием внешней силы

судна даст точку  $M$ , которая называется главным продольным метацентром.

Возвышение главного продольного метацентра  $M$  над центром тяжести  $G$  называется продольной метацентрической высотой и обозначается буквой  $H$ .

Возвышение главного продольного метацентра  $M$  над центром величины  $C$  называется продольным метацентрическим радиусом и обозначается буквой  $R$ .

Главный продольный метацентр  $M$  всегда расположен значительно выше центра тяжести судна  $G$ . Поэтому продольная метацентрическая высота  $N$  в десятки раз превышает поперечную метацентрическую высоту  $n$ . Это означает, что судно всегда обладает большой продольной остойчивостью, и поэтому никогда суда не переворачиваются через нос или корму. По этой причине перемещение грузов по судну практически не изменяет его продольной остойчивости. Тогда как при этом поперечная остойчивость может значительно ухудшаться и даже стать отрицательной. В связи с этим в дальнейшем рассматриваются меры по обеспечению поперечной остойчивости судна.

Исключение из этого вывода составляют парусные катамараны. У них продольная остойчивость часто меньше, чем поперечная. Это вызвано малыми площадями конструктивных ватерлиний корпусов катамаранов из-за их узких обводов. Поэтому на полных курсах при свежих ветрах катамараны могут зарываться носом в воду и даже опрокидываться через нос.

## **5. Влияние движения грузов по судну на его посадку и остойчивость**

На судне в процессе его эксплуатации перемещаются, расходуются и принимаются твердые и жидкие грузы. При перемещении груза по судну в каком-либо направлении его центр тяжести также перемещается в том же направлении параллельно перемещению центра тяжести груза. Причем перемещение центра тяжести судна происходит тем значительнее, чем больше вес груза и расстояние, на которое он перемещается. Движение твердых грузов по судну вызывает изменение его посадки и остойчивости, возникновение крена и дифферента (таблицы 2 и 3).

Жидкий груз может оказывать двоякое влияние на остойчивость судна. Если жидкий груз полностью заполняет отсек (цистерну) и потому не имеет поверхности свободного уровня, то рассматривается как твердый груз. Жидкий груз со свободной поверхностью уровня (вода, скопившаяся в трюме при тушении пожара, попавшая на палубу или в корпус судна во время шторма, топливо в незаполненной цистерне и т.д.) при наклонении судна переливается в сторону его борта или оконечности. Вследствие этого происходит перемещение центра тяжести жидкого груза и, следовательно, центра тяжести судна в ту же сторону. Это вызывает уменьшение плеча восстанавливающего момента, т.е. снижает остойчивость судна. При этом отрицательное влияние жидкого груза на остойчивость судна

Таблица 2

Изменение посадки и остойчивости судна, возникновение крена и дифферента при перемещении твердых грузов						
Вид перемещения груза по судну	Осадка, Т	Смещение центра тяжести судна	Смещение центра величины судна	Изменение поперечной метацентрической высоты	Дифферент, $\Psi$	Крен, $\alpha$
По вертикали вверх	без измен.	вверх	без изменений	уменьшение	без изменений	без измен.
По вертикали вниз	без измен.	вниз	без изменений	увеличение	без изменений	без измен.
По горизонтали поперек судна	без измен.	к борту	к борту	без измен.	без изменений	есть
По горизонтали влодь судна	Увелич. носом (кормой)	к носу (корме)	к носу (корме)	без измен.	на нос (корму)	без измен.
В произвольном направлении	измен. носом (кормой)	к носу, борту (корме)	к носу, борту (корме)	увелич. или уменьш.	на нос (корму)	есть

Таблица 3

Изменения посадки и остойчивости судна при приеме и расходовании грузов, не создающих крена и дифферента						
Вид приема и расходования груза на судне	Вес судна, Р	Объемное водоизмещение, V	Осадка, Т	Смещение центра тяжести судна	Смещение центра величины судна	Изменение поперечной метацентрической высоты, h
Прием на палубу	увелич.	увелич.	увелич.	вверх	вниз	уменьшение
Прием в трюм	увелич.	увелич.	увелич.	вниз	вниз	увеличение
Расход с палубы	уменьш.	уменьш.	уменьш.	вниз	вверх	увеличение
Расход из трюма	уменьш.	уменьш.	уменьш.	вверх	вверх	уменьшение

тем значительнее, чем больше его поверхность свободного уровня при переливании.

Отмеченное выше влияние перемещения грузов по судну на его посадку и остойчивость относится, в основном, к катерам. Это объясняется тем, что килевые яхты весьма остойчивы и, кроме того, яхты

всех классов не используются для грузопассажирских перевозок. В связи с этим в целях обеспечения безопасности плавания катеров надлежит:

1. Иметь в виду, что при приеме груза ниже ватерлинии метацентрическая высота увеличивается, а при приеме груза выше ватерлинии – уменьшается.

2. Не допускать перегрузки судна и сохранять установленную высоту его надводного водонепроницаемого борта.

3. Грузы на судне надежно закреплять на своих местах для предупреждения их перемещения на качке.

4. Жидкие и сыпучие грузы принимать на судно в таре, заполненной с наименьшей свободной поверхностью уровня.

5. Не допускать скопления людей на палубе или на одном из бортов.

6. Следить, чтобы пассажиры находились на своих штатных местах.

7. Не выходить в море при наличии крена и дифферента свыше  $1^{\circ}$ .

8. Содержать трюм сухим.

9. При плавании в шторм герметизировать судно и для предотвращения его заливания волнами выбирать безопасные курсы и скорости хода.

10. При аварийном попадании воды в корпус судна для предупреждения его опрокидывания немедленно стать на якорь и осушить трюм (отсек). Стоящее на якоре судно носом против волн из-за большой продольной остойчивости будет иметь менее опасную килевую качку.

Следует отметить, что при эксплуатации катеров и яхт их иногда приходится по разным причинам закрепивать. Например, перемещением контрольного балласта по катеру производят его накренивание для определения остойчивости. Для этого на катер принимают штатные грузы (топливо, воду, масло, предметы снабжения и т.д.) и крепят их на своих местах. Затем на катер грузят балласт, равный весу 60% принимаемых пассажиров. При этом вес одного пассажира принимают равным 100 кг. Балласт располагают посередине длины пассажирского кокпита на высоте сиденья и ближе к расчетному центру тяжести катера. После этого балласт смещают к одному борту в крайнее положение кокпита, которое могут занять пассажиры. Остойчивость считается достаточной, если при этом палуба катера не входит в воду со стороны накренившегося борта.

В парусном спорте перемещением «живого балласта» (экипажа) на швертботах и шлюпках их накренивают для увеличения остойчивости и скорости хода, а на килевых яхтах – для снятия их с мели или осмотра, очистки или ремонта корпусов на плаву. При расположении экипажа

швертбота или шлюпки на их наветренном борту центр тяжести судна оказывается смещенным в ту же сторону. Этим достигается равенство кренящего и восстанавливающего моментов, действующих на судно. В результате судно идет без крена и поэтому с наибольшей скоростью, хорошей управляемостью и остойчивостью.

## УПРАВЛЯЕМОСТЬ

### 1. Основные определения

Важным мореходным качеством судна является его управляемость. Управляемость – способность судна удерживать заданное направление движения и при необходимости изменять свой курс. Поэтому управляемое судно должно быть устойчивым в движении и быть поворотливым. Поворотливость – способность судна изменять направление своего движения при отклонениях пера руля от среднего его положения.

Управление судами с механическими установками осуществляется рулем, гребными винтами и водомётами. Парусные суда, помимо руля, могут при определенных условиях управляться парусами и изменением посадки. В общем случае основным органом управления судном является руль.

### 2. Действие руля на судно

Перо руля может находиться в следующих положениях:

- 1) в диаметральной плоскости (ДП) судна;
- 2) отклоненным от ДП на угол;
- 3) переведенным (переложенным) с одного борта на другой.

При отклонении пера руля от ДП на угол  $\alpha$  (рис. 19) частицы воды оказывают неравномерное давление на обе стороны пера. Вследствие этого возникает сила давления  $N$ , нормальная к плоскости пера руля.

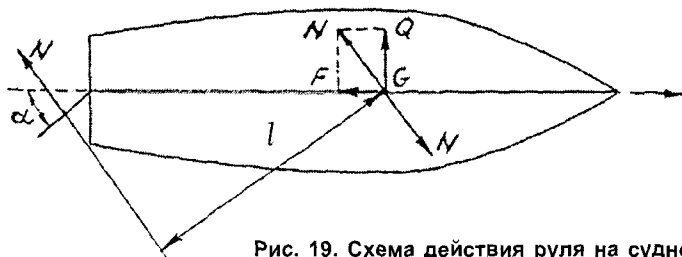


Рис. 19. Схема действия руля на судно

Приложим в центре тяжести судна  $G$  две силы  $N$ , равные, противоположно направленные и параллельные силе давления воды  $N$  на перо руля. В результате получим пару сил  $N \cdot l$ , которая будет вращать судно и силу  $N$ . Эту силу разложим на составляющие: силу  $F$ , противоположно направленную движению судна и тем уменьшающую его скорость, и силу  $G$ , действующую перпендикулярно движению судна и называемую силой дрейфа. Таким образом, после отклонения пера руля от ДП судно под действием момента  $N \cdot l$  начнет вращаться около своей вертикальной оси, проходящей через центр тяжести  $G$ . Одновременно уменьшится скорость суд-

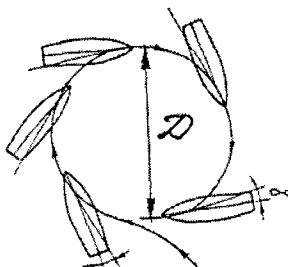


Рис. 20. Циркуляция судна.

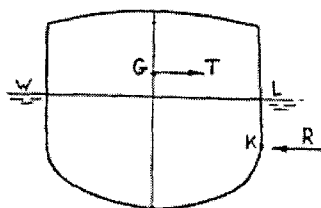


Рис. 21. Крен судна циркуляции

на, и судно дрейфует. Угол дрейфа  $\gamma$ .

При вращении судна его центр тяжести  $G$  описывает кривую, близкую к окружности (рис. 20). Такое движение судна называется циркуляцией. Расстояние между обратными курсами при повороте на  $180^\circ$  называется диаметром циркуляции и обозначается буквой  $D$ . Обычно он составляет 7 – 8 длин судна.

При описывании циркуляции и установившемся движении судна на него действует центробежная сила инерции  $T$  (рис. 21). Она приложена в центре тяжести судна  $G$  и вызывает его боковое смещение. Этому смещению препятствует сила сопротивления воды  $R$ , приложенная в центре давления точке  $K$  на боковую поверхность погруженной части судна. Силы  $T$  и  $R$  образуют пару, вызывающую крен судна на внешнюю сторону поворота. Это следует помнить и проявлять осторожность при повороте малоостойчивого судна.

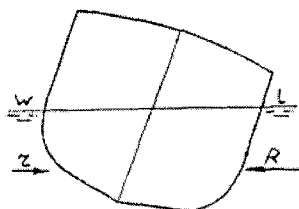


Рис. 22. Поворот судна вследствие крена

Поворот движущегося судна может произойти и вследствие его крена при руле, находящемся в положении «прямо». Так, при крене на скулы движущегося судна действуют разные по величине гидродина-

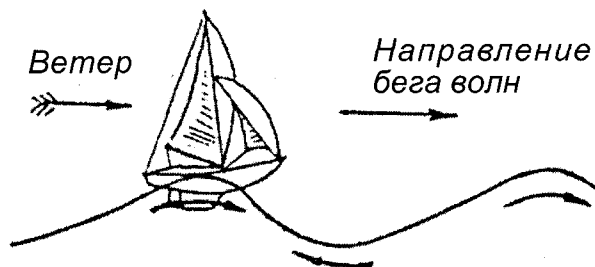


Рис. 23. Поверхностные течения на вершинах и подошвах волн

мические силы  $R$  и  $г$ , направленные взаимно противоположно. На более углубленную скулу оказывает давление большая сила  $R$ , а на менее углубленную скулу – меньшая сила  $г$  (рис. 22). Под действием разности сил  $R - г$  судно разворачивается в сторону повышенного борта. Это явление используется при управлении парусными шлюпками без руля. Созданием крена на ходу шлюпки корректируют ее курс и производят повороты.

Следует иметь в виду, что руль работает только тогда, когда его перо обтекается встречными струями воды. Однако это происходит не всегда. Так, во время плавания на попутном волнении особую опасность для судна представляет действие на него крупных волн, которые сообщают судну дополнительную энергию и этим вынуждают его двигаться со скоростью бега волн. В результате этого происходит захват судна попутной волной, при котором судно «засиживается» на ее вершине. При этом судно значительно утрачивает поперечную остойчивость из-за уменьшения площади конструктивной ватерлинии (см. рис. 15) и поэтому накренивается. Судно из-за крена поворачивается в стороны повышенного борта лагом к волне. В этот момент удержать судно на курсе невозможно. Это вызвано тем, что при ветровом волнении на вершинах и подошвах волн возникают взаимно противоположные поверхностные течения (рис. 23). Поэтому при нахождении судна на вершине попутной волны перо руля обтекается не встречными, а попутными струями воды, из-за чего руль бездействует. В итоге утратившее остойчивость и управляемость накренившееся и развернутое лагом к волне судно опрокидывается. Это явление называется брочингом. Брочинг возникает при совпадении скоростей судна и бега волн, а также длин судна и волн. Брочинг особо опасен для небольших судов.

При плавании на встречном волнении брочинг не возникает, так как ско-

рости судна и бега волн складываются. Поэтому судно не «засиживается» на вершинах волн и быстро их проходит. Кроме того, из-за встречных поверхностных течений на вершинах волн руль судна работает хорошо.

Меры безопасности при плавании на попутном волнении:

1) при подходе крупных волн уменьшать скорость хода судна реверсированием, буксировкой за кормой выпущенного на всю длину якорного каната с прикрепленным к нему за конус плавучим якорем. Это предотвратит захват судна волной и разворачивание его лагом к волне;

2) не допускать наличия у судна дифферента на нос для уменьшения величины разворачивающего момента;

3) изменять курс с фордевинда на бакштаг;

4) управлять судном с помощью рулевого весла, лопасть которого располагается глубже пера руля, где поверхностное течение значительно слабее;

5) в шторм не входить в зоны мелководья или прибоя, в которых могут возникать крупные волны.

### ХОДКОСТЬ

Ходкостью называется способность судна перемещаться под действием движущей силы, получаемой от источника энергии.

Судно одновременно движется в воде и в воздухе. Они оказывают на судно действие в виде продольных аэродинамической и гидродинамических сил. Наибольшее значение при этом имеет продольная гидродинамическая сила (далее сила продольного сопротивления воды  $R$ ). Эта сила проложена в центре тяжести судна точке  $G$  (рис. 24), направлена противоположно скорости судна  $V$  и при его постоянной скорости хода уравнивается равной и противоположной силой тяги  $T$ , создаваемой двигателем.

Сила продольного сопротивления воды является суммой сил сопротивления трения, сопротивления формы и волнового сопротивления, на-

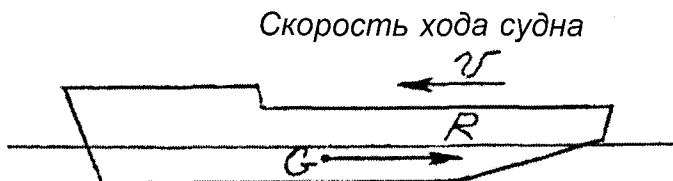


Рис. 24. Сила продольного сопротивления воды



правленных противоположно скорости судна. Следует отметить, что сила продольного сопротивления воды у парусных судов еще дополнительно увеличивается вследствие влияния на них крена и дрейфа.

Сила сопротивления трения возникает из-за вязкости воды, соприкасающейся с обшивкой судна. Величина этой силы зависит от размеров поверхности обшивки, ее шероховатости, неровностей стыков и пазов листов, а также решеток забортных отверстий. Особенно возрастает сила сопротивления трения при обрастании, вследствие чего скорость хода судна снижается на 25-30%. Для уменьшения шероховатости обшивки надо применять противообрастающие краски, очищать корпус судна и использовать протекторную и катодную защиту от коррозии.

Сила сопротивления формы возникает при давлении движущегося судна на воду. При этом судно сообщает воде определенную энергию. Вследствие этого вода в носу судна поднимается и образует носовой бурун. При обтекании корпуса судна скорость частиц воды возрастает, а давление в ее потоке уменьшается. В корме частицы воды затормаживаются, из-за чего давление в потоке возрастает. Это вызывает подъем воды в корме – кормовой бурун. В результате перераспределения давления вдоль корпуса судна возникает сопротивление формы. Его величина зависит от формы подводной части судна и характера ее обтекания.

При движении судна возникают волны. На их образование и поддержание затрачивается часть энергии судна, которая расходуется на преодоление волнового сопротивления.

Следует помнить, что гидро- и аэродинамическое сопротивление при плавании судна в сложных гидрометеорологических условиях возрастают вследствие влияния ветра, волнения и течения. При этом потеря скорости судна является следствием совокупности:

- 1) увеличенного воздушного сопротивления;
- 2) дополнительного сопротивления, обусловленного килевой и вертикальной качкой;
- 3) потери энергии на отражение волн от корпуса судна;
- 4) увеличения сопротивления из-за дрейфа судна;
- 5) влияния ветрового волнения;
- 6) изменения характеристик корпуса, двигателя и движителя.

## КАЧКА

### 1. Основные определения

Качкой называются колебательные движения судна при плавании на спокойной или взволнованной поверхности воды. Качка судна – очень сложное явление. Плавание судна на волнении всегда сопровождается качкой.

Качка бывает:

1) бортовая или боковая – колебания судна в плоскости шпангоута вокруг продольной оси;

2) килевая или продольная – колебания судна в диаметральной плоскости вокруг поперечной оси;

3) вертикальная качка – колебания судна в вертикальном направлении в виде всплытия и погружения.

Иногда килевая качка сочетается с вертикальной.

Качка влечет за собой ряд вредных последствий:

1) при бортовой качке из-за наклона за предельный угол крена возможно опрокидывание судна;

2) уменьшение скорости из-за ухудшения условий работы движителя и увеличения сопротивления воды;

3) увеличение расхода топлива на милю пройденного пути;

4) забрызгивание и заливание водой палубы из-за зарывания оконечностей и бортов под поверхность воды;

5) возникновение опасных усилий в корпусе, оборудовании и надстройках судна вследствие мощных ударов волн;

6) нарушение работы судовых установок вследствие динамических нагрузок в условиях качки;

7) затруднения в обслуживании судовых установок, механизмов и приборов;

8) ухудшение обитаемости судна и отрицательное физиологическое воздействие на людей (морская болезнь);

9) смещение незакрепленных грузов, вызывающее повреждение корпуса судна и иногда утрату им поперечной остойчивости.

Основной причиной возникновения качки является действие волн на судно.

## 2. Элементы волн

Волны (рис. 25) состоят из чередующихся валов и впадин. Вершины валов называются гребнями (А; А<sub>1</sub>), а основания – подошвами (Б). Волны характеризуются следующими элементами: длиной, высотой, периодом и скоростью. Высота волны Н – расстояние по вертикали от вершины волны до ее подошвы. Длина волны  $\lambda$  – расстояние по горизонтали

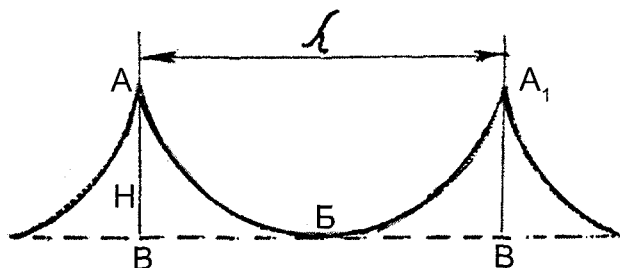


Рис. 25. Схема профиля правильной волны

между соседними гребнями или подошвами волн в направлении, перпендикулярном к линиям гребней. Высота и длина волны измеряется в метрах (м). Скорость волны С – расстояние, проходимое волной за единицу времени. Измеряется в метрах в секунду (м/с). Период волны Т – промежуток времени, в течение которого волна проходит расстояние, равное своей длине. Измеряется в секундах (с).

Скорость волны, длина и период связаны между собой соотношением:

$$C = \frac{\lambda}{T}.$$

На Черном море при ветрах 7-8 баллов высота волн у южного побережья Крыма достигает 2 м. Во время штормов у кавказских берегов при ветрах западного направления высота волн бывает 4-6 м. В открытых районах моря при ветре 10-15 м/с наблюдаются волны высотой 1,5-2,5 м, длиной 10-30 м со скоростью распространения 2,5-5 м/с и периодом 6-7 с.

Азовское море отличается малыми глубинами, не превышающими 14 м, вследствие чего при свежих ветрах возникают крутые волны с малым периодом, очень неблагоприятные для судов.

## 3. Качка судна на волнении

Качка судна на волнении состоит из наложения двух родов колебаний – свободных и вынужденных. Свободные колебания происходят вследствие первоначального отклонения судна под действием выпрямля-

ющей пары сил и избытка плавучести. Вынужденные колебания происходят вследствие непрерывного действия волн на судно.

Колебания судна характеризуются амплитудой и периодом. Амплитудой бортовой качки называется наибольший угол крена, а килевой качки – наибольший угол дифферента. Периодом качки называется время, в течение которого судно при качаниях из одного крайнего положения переходит в противоположное и снова возвращается в первое крайнее положение.

При равенстве периодов волн и собственного периода качки судна возникает резонансная качка. В результате этого ее амплитуда резко возрастает, что при бортовой качке может привести к опрокидыванию судна. Резонансная килевая качка достигает наибольшей величины при совпадении длин судна и волны. Это приводит к увеличению забрызгиваемости, заливаемости, снижению скорости хода судна и увеличению напряжений в связях его корпуса.

Бортовая и килевая резонансные качки возникают при определенных курсах и скоростях судна на волнении. Поэтому для их избежания следует выбирать безопасные курсы и скорости по отношению к направлению бега волн.

Резонансная бортовая качка может возникать и при отсутствии хода у судна. В таком случае судно разворачивается лагом к волне и подвергается бортовой качке, которая быстро становится резонансной. Во избежание этого следует немедленно стать на якорь. При стоянке на якоре судно будет иметь менее опасную килевую качку.

## **СУДОВЫЕ ДВИЖИТЕЛИ**

### **1. Основные определения**

Для приведения судна в движение с заданной скоростью к нему необходимо приложить усилие, равное по величине и противоположное по направлению силе сопротивления среды (воды и воздуха). Такая постоянная действующая на судно сила может быть создана при помощи различных продолжительно работающих источников энергии: мускулов человека, ветра и разного рода двигателей. Для преобразования энергии двигателей в энергию поступательного движения судна служат специальные устройства и механизмы-двигатели.

По принципу действия двигатели подразделяются на реактивные и активные. Реактивные создают движущую силу за счет реакции масс

воды, отбрасываемой движителем в сторону, противоположную направлению движения судна. Сила реакции воды воспринимается движителем и передается на корпус судна. К реактивным движителям относятся весла, гребной винт, водомётный движитель.

Активным движителем является парус, который использует энергию ветра и поэтому не нуждается в движителе.

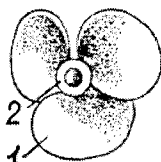


Рис. 26.  
Гребной винт

## 2. Гребной винт

Гребной винт – простое, надежное, эффективное, малогабаритное с небольшим весом устройство, не требующее никакого технического обслуживания.

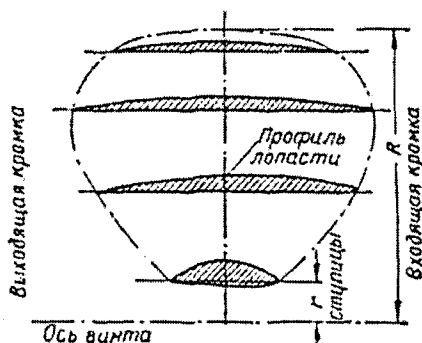


Рис. 27. Профили сечений лопасти гребного винта

Гребной винт (рис. 26) – конструкция, состоящая из нескольких лопастей 1, укрепленных на ступице 2 на одинаковых угловых расстояниях друг от друга. Стенки лопастей гребного винта образуются по винтовой поверхности, а их сечениям придается крылообразная форма в виде круговых сегментов (рис. 27). Ось вращения гребного винта располагается вдоль судна. Рабочими органами гребного винта, воспринимающими реакцию воды, являются лопасти. Поверхность лопасти, обращенная в корму (рис. 28), называется нагнетающей, так как при переднем ходе судна на ней возникают повышенные давления воды. Противоположная ей поверхность лопасти называется засасывающей вследствие того, что на ней создаются пониженные давления или разрежения. Линии пересечения засасывающей и нагнетающих стенок образуют кромки лопасти. Кромка лопасти, обращенная в сторону вращения винта на передний ход, называется входящей, противоположная – выходящей.

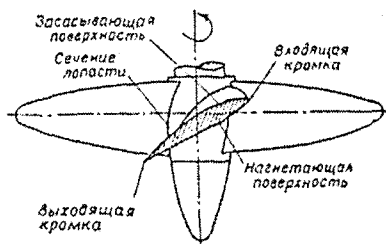


Рис. 28. Элементы лопасти гребного винта

Основными элементами гребного винта являются диаметр  $D$  (рис. 29), шаг и число лопастей. Диаметр винта – диаметр диска, ометаемого концами лопастей. Шаг винта – то расстояние, которое винт проходит за один оборот при ввинчивании в твердое тело.

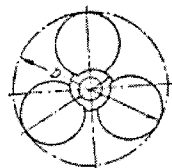


Рис. 29. Диаметр гребного винта

Гребные винты бывают правого и левого вращения

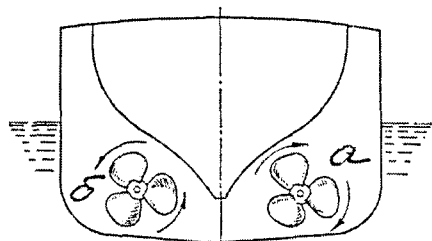


Рис. 30. Стороны вращения гребных винтов на передний и задний ход

(рис. 30). Винтом правого вращения называется такой, который для наблюдателя, смотрящего на винт с кормы в нос, при работе на передний ход вращается по часовой стрелке (рис. 30 а). Винт левого вращения при тех же условиях вращается против часовой стрелки (рис. 30 б).

Направление вращения винта можно определить следующим способом (рис. 31). Винт устанавливают на ступицу и смотрят на конец лопасти. Если правая кромка лопасти выше левой, то винт правого вращения. Если ее левая кромка выше правой, то винт левого вращения.

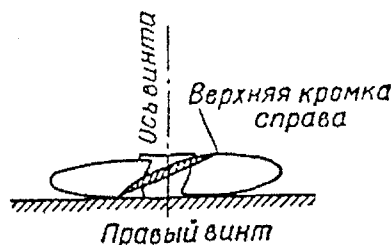
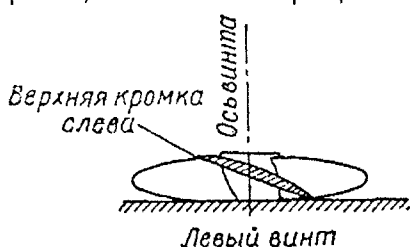


Рис. 31. Определение направления вращения винта

При вращении винта (рис. 32) на поверхностях лопастей, обращенных в нос судна, создается разрежение, а на обращенных в корму нагнетающих поверхностях – повышенное давление. Разность давлений по обе стороны лопастей создает подъемную силу  $R$ . Разложим силу  $R$  на составляющие силы  $T$  и  $P$ . Сила  $T$ , направленная по оси вала, создает упор (или тягу) винта, движущий суд-

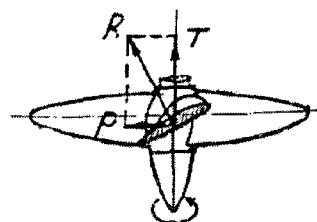


Рис. 32. Схема сил, действующих на лопасти винта

но. Сила  $P$  образует крутящий момент, который преодолевается двигателем.

На работу винта сильное влияние оказывает корпус судна и его выступающие части. При движении судна за ним в потоке воды создается сложное поле скоростей и давлений. Поэтому поток, натекающий на работающий винт, изменяет его упор и момент. Винт при работе также вносит изменения в распределение скоростей и давлений в потоке, что меняет характер обтекания корпуса судна и его сопротивление воде. Такое сложное гидродинамическое взаимодействие между корпусом судна и винтом учитывается при его расчете. В основе этого расчета находится комплекс «корпус судна – двигатель – винт».

### 3. Совместная работа двигателя и гребного винта

При работе двигатель взаимодействует с гребным винтом. Энергетические возможности двигателя определяются его внешней характеристикой. Зависимость мощности двигателя от частоты вращения вала при наибольшей подаче топлива называется внешней характеристикой номинальной мощности.

Совместная работа двигателя и винта определяется винтовой характеристикой. Винтовая характеристика показывает зависимость мощности, поглощаемой винтом, от частоты вращения вала двигателя.

Внешняя и винтовая характеристики показаны на рис. 33. Частота вращения вала двигателя изменяется в зависимости от подачи топлива. Наибольшая мощность, поглощаемая винтом, должна соответствовать наибольшей мощности, которую развивает двигатель по внешней характеристике. При этом внешняя характеристика 1 и винтовая характеристика 3 должны пересекаться в точке В. В таком случае, двигатель будет отдавать свою наибольшую мощность на винт. Если винтовая характеристика 2 пересекает внеш-

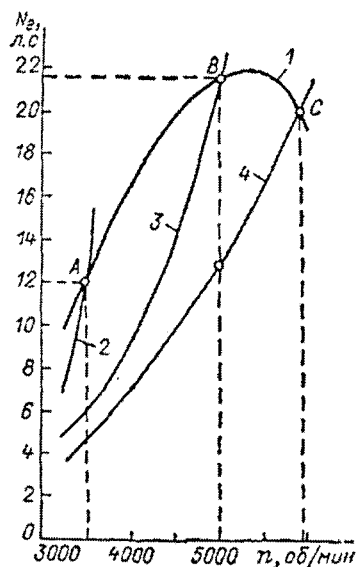


Рис. 33. Внешняя и винтовая характеристики

шнюю характеристику 1 в точке А, то двигатель развивает наибольший крутящий момент для данной частоты вращения вала, но не достигает наибольшей мощности. Это означает, что винт является гидродинамически «тяжелым». Если винтовая характеристика 4 пересекает внешнюю характеристику в точке С, то вал двигателя развивает большую частоту вращения. Но при этом не используется вся мощность двигателя. В этом случае винт оказывается гидродинамически «легким».

В процессе эксплуатации судна гребной винт «утяжеляется» из-за увеличения шероховатости обшивки судна и лопастей вследствие обрастания, коррозии и различных повреждений. Это изменяет винтовую характеристику, что приводит к перегрузке или недогрузке двигателя.

#### 4. Конструкции, материалы изготовления и балансировка гребных винтов

По конструкции гребные винты малых судов бывают:

- 1) двух-, трех- и четырехлопастные;
- 2) цельнолитые с неподвижными лопастями, т.е. с фиксированным шагом (ВФШ);
- 3) с поворотными лопастями, т.е. с регулируемым шагом и направлением упора (ВРШ);
- 4) со складывающимися лопастями. Такие винты применяются на парусно-моторных судах. На ходу судна под парусами лопасти складываются и находятся во флюгерном состоянии. При вращении винта лопасти под действием центробежных сил разворачиваются в рабочее положение и создают упор.

Если наимыгоднейшие частоты вращения вала двигателя и винта различаются, то между валом и гребным валом устанавливается реверс – редуктор. Реверс – редуктор также обеспечивает реверсирование, т.е. изменение направления вращения гребного вала и действие упора винта на противоположное.

Гребные винты изготавливаются из нержавеющей стали, латуни, бронзы и пластмассы.

Изготовленные винты проходят статическую балансировку с целью

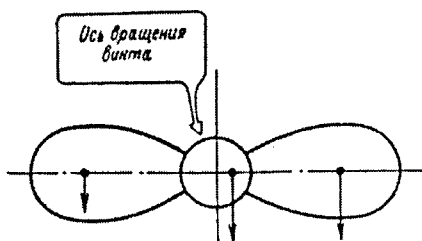


Рис. 34. Статическая неуравновешенность винта



проверки совпадения центра тяжести винта с его осью вращения. Дело в том, что одна из лопастей винта может оказаться тяжелее другой (рис. 34). Тогда центр тяжести винта не будет находиться на оси его вращения. Поэтому при вращении винта возникает неуравновешенная центробежная сила, которая вызывает вибрацию вала и судна. При балансировке винт насаживают на вал. Вал устанавливают на горизонтально расположенных стальных ножах, прокручивают и следят, в каком положении винт останавливается. Если одна из лопастей перетягивает и винт катится так, что лопасть каждый раз занимает нижнее положение, то с этой лопасти снимают лишний металл или утяжеляют легкую сторону винта.

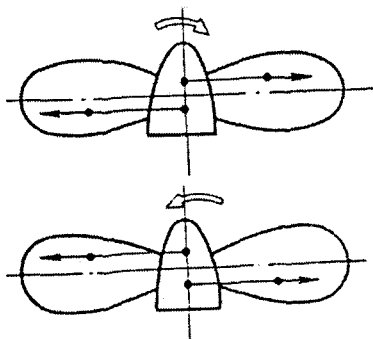


Рис. 35. Динамическая неуравновешенность винта

Иногда центры тяжести лопастей оказываются по разные стороны от плоскости вращения винта, хотя их общий центр тяжести находится на оси его вращения (рис. 35). Поэтому такой статически отбалансированный винт является динамически неуравновешенным. В этом случае при вращении винта возникает изгибающий момент, вызывающий вибрацию. Динамическую балансировку винта производят после его прокручивания на специальном станке.

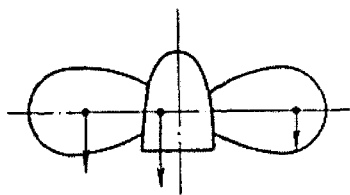


Рис. 36. Гидродинамическая неуравновешенность винта

Причиной вибрации механически уравновешенного винта может быть его гидродинамическая неуравновешенность (рис. 36), которая возникает из-за

разношаговости лопастей. Разношаговость лопастей является следствием их деформаций, возникших при повреждениях, съёмке с вала и ремонта винта. В результате этого силы упора лопастей смещаются, что вызывает смещение силы упора винта с его оси вращения. Из-за этого возникает изгибающий момент, создающий вибрацию.

### Меры по обеспечению эффективной работы гребного винта

1. Систематическая очистка подводной обшивки судна и лопастей винта от обрастания.

2. Применение протекторной и катодной защиты.
3. Недопущение окраски винта и применения открытого огня для разогрева ступицы винта при его съёмке с вала.
4. Применение механического съёмника при снятии винта с вала.
5. Ремонт винта на специализированном промышленном предприятии.

## 5. Водомётный движитель

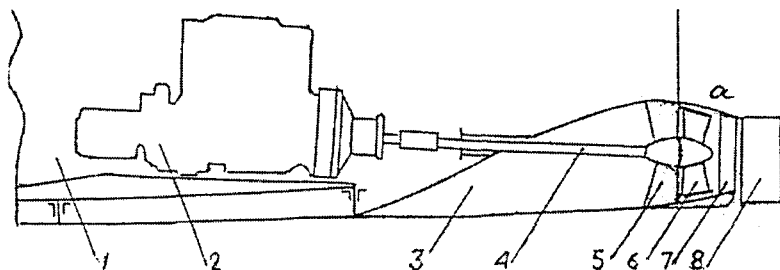


Рис. 37. Схема водомётного движителя:

1-корпус катера; 2-двигатель; 3-водомётная труба; 4-гребной вал; 5- направляющий аппарат; 6-рабочее колесо; 7-спрямляющий аппарат; 8-реверсивно-рулевое устройство

Водомётный движитель (рис. 37). за счет реакции выбрасываемой струи воды создает силу, движущую судно.

При работе движителя водозабор производится через входное отверстие водомётной трубы (3), защищенное сеткой. Рабочее колесо (6) нагнетает воду в сопло «а». В сопле установлены направляющие (5) и спрямляющие (7) лопатки, которые выравнивают поток воды. Сопло имеет суживающееся сечение, вследствие чего потенциальная энергия давления воды преобразуется в кинетическую энергию. В результате этого поток приобретает значительную скорость. Для управления струей служит реверсивно-рулевое устройство (8), состоящее из рулей, заслонок и поворотных насадок. Реверс и управление судном производится изменением направления выбрасываемой струи воды. Выброс струи производится в воду. У некоторых водомётных движителей выброс струи происходит в полуводу или в атмосферу.

Водомётные движители стационарные, подвесные применяются на катерах и парусно-моторных яхтах. Подвесной мотор на яхте бывает водомётным (рис. 38) или имеет водомётную приставку вместо гребного винта.

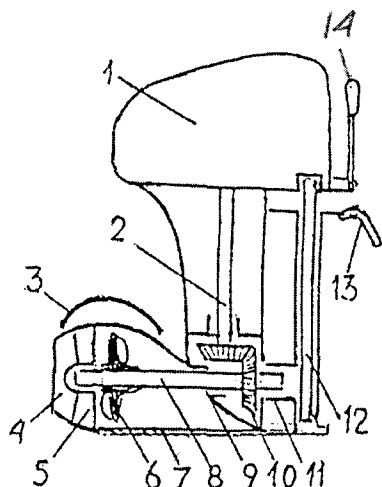


Рис. 38. Схема подвешенного водометного мотора мощностью 20 л.с.

1-двигатель; 2-вал-рессора; 3-заслонка заднего хода; 4-сопло; 5-спрямляющий аппарат; 6-крыльчатка; 7-защитная решетка; 8-гребной вал; 9-опорно-упорный подшипник; 10-шестерня редуктора; 11-опорный подшипник; 12-ось поворота; 13-струбцина; 14-румпель.

Подвесной водометный мотор при необходимости может использоваться как насос для откачки воды из корпуса судна. Для этого в корпусе судна должно быть место для крепления движителя и съемный гибкий выкидной рукав для отвода воды от насоса за борт. При работе в таком режиме водометный подвесной мотор будет одновременно двигать судно и откачивать воду из его корпуса.

Водометные движители имеют преимущества и недостатки.

Преимущества:

1) не требует наличия реверс-редуктора;

2) из-за отсутствия выступающих частей обладают высокой проходимостью по мелководью и акваториям, засоренным плавающими предметами, могут с полного хода преодолевать песчаные косы и пры-

гать с трамплина, безопасны при буксировке воднолыжников и пловцов, легко снимают и устанавливают на трейлер катер, как только его корма окажется в воде;

3) имеют высокую живучесть энергетической установки.

Недостатки:

1) очень низкий коэффициент полезного действия;

2) повышенный износ рабочих колес илом и песком при плавании по мелководью;

3) необходимость размещения водометной трубы в корпусе судна, что увеличивает его водоизмещение, так как труба заполняется водой.

## Раздел 2. ГИДРОАЭРОДИНАМИКА ПАРУСНОЙ ЯХТЫ

### Введение

Гидроаэродинамика яхты – раздел теории корабля, рассматривающий движение судна, оснащенного косыми парусами.

Парус преобразует энергию ветра в энергию движения яхты. Ветер – поток воздуха, не управляемый человеком. Поэтому движение и маневрирование парусной яхты зависят от расположения ее парусов по отношению к ветру и от его силы (скорости).

Парусная яхта идет одновременно в воде и в воздухе, на их границе. Ветер и вода действуют на парусное вооружение и корпус яхты с определенными силами. Эти силы двигают, тормозят и наклоняют яхту в различных направлениях. Рассмотрение этих явлений связано с определенной терминологией.

### 1. Основные определения

1. Хорда профиля паруса (рис. 39). Это условная линия, соединяющая точки А и В профиля паруса. При теоретических рассуждениях принимается как след плоскости паруса.



Рис. 39. Хорда профиля паруса

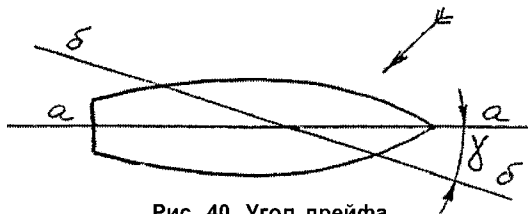


Рис. 40. Угол дрейфа

2. Угол дрейфа (рис. 40). Угол между линией истинного курса а–а и линией пути б–б яхты. Обозначается буквой  $\gamma$ .

3. Угол ветра (УВ) (рис. 41). Угол между линией

ветра и линией пути б–б яхты. Измеряется от носовой части диаметральной плоскости яхты в пределах от 0 до 180° и обозначается буквой  $\beta$ . При движении яхты УВ может изменяться вследствие: 1) изменения направления ветра при неизменном направлении движения яхты (рис. 42); 2) изменения направления движения яхты при неизменном направлении ветра (рис. 43).

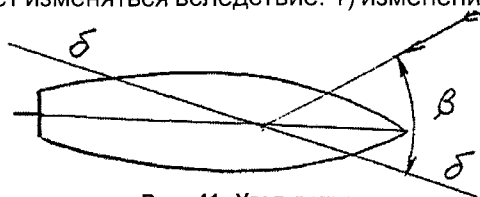


Рис. 41. Угол ветра

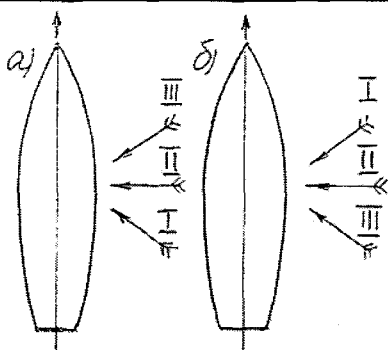


Рис. 42. Изменения угла ветра при неизменном направлении движения яхты

Если яхта идет, не меняя своего направления движения (рис. 42), а угол ветра уменьшается (позиция а – I, II, III), то принято говорить «ветер заходит» и «отходит», если угол ветра увеличивается (позиция б – I, II, III).

Если при постоянном направлении ветра яхта изменяет направление движения и при этом угол ветра увеличивается, то говорят «яхта уваливается», «идет полнее», «падает под ветер», «спускается» (рис. 43,

позиция а, угол  $\beta_1$  меньше угла  $\beta_2$ ).

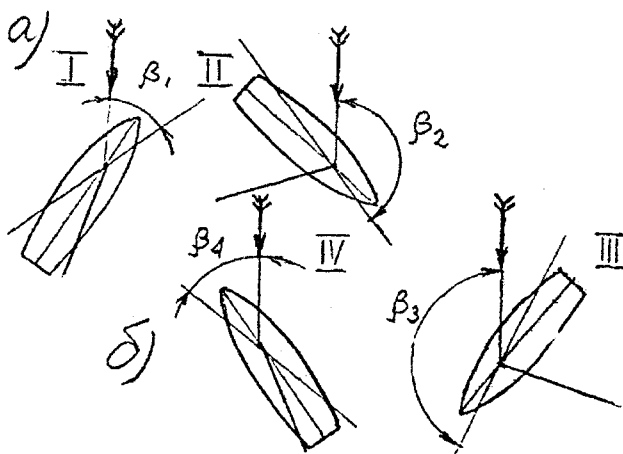


Рис. 43. Изменения угла ветра при изменении направления движения яхты

Если же угол ветра при изменении направления движения яхты уменьшается, то говорят «яхта приводится», «идет круче», «острее», «поднимается к ветру» (рис. 43, позиция б, угол  $\beta_4$  меньше угла  $\beta_3$ ).

4. Угол атаки (рис. 44). Угол между линией ветра и плоскостью паруса. Изменяется от 0 до 90° и обозначается буквой  $\alpha$ . Расчет показывает, что наи-

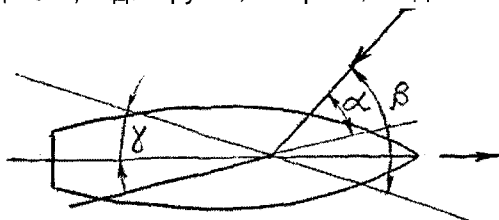


Рис. 44. Угол атаки

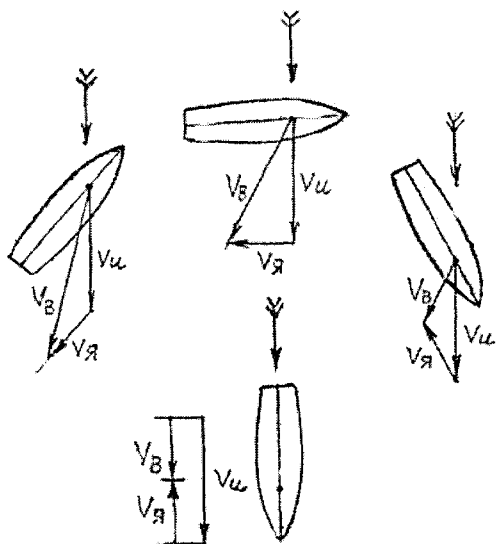


Рис. 45. Ветер истинный,

большая скорость яхты достигается при соблюдении условий  $\alpha = \beta/2$ , то есть когда плоскость паруса делит пополам угол ветра. На практике величина угла атаки изменяется в широких пределах, так как зависит от многих факторов.

5. Ветер истинный, ветер вымпельный (рис. 45). Ветер истинный – движение воздуха относительно неподвижного объекта. Направление такого ветра указывают дымы из труб на берегу, флаги, развевающиеся на судне, стоящем на якоре или у причала. Век-

тор скорости истинного ветра обозначается  $V_{и}$ .

Движение яхты вызывает встречный поток воздуха, скорость которого равна скорости яхты. Вектор скорости встречного потока воздуха обозначается  $V_{я}$ .

На палубе движущейся яхты ощущается кажущийся встречный поток воздуха. Его направление указывает вымпел яхты. Поэтому этот поток воздуха называется вымпельным. Вектор скорости вымпельного ветра обозначается  $V_{в}$ . Вектор скорости вымпельного ветра  $V_{в}$  является суммой векторов скоростей истинного ветра  $V_{и}$  и встречного потока воздуха  $V_{я}$ . Следует отметить, что по мере удаления по высоте от водной поверхности скорость истинного ветра увеличивается. Это приводит к возрастанию скорости и угла вымпельного ветра.

6. Галс (рис. 46). Галс – положение парусной яхты относительно ветра, когда угол ветра больше нуля.

Галсы бывают правый и левый. Яхта идет правым галсом, если ветер дует в ее правый борт, а паруса нахо-

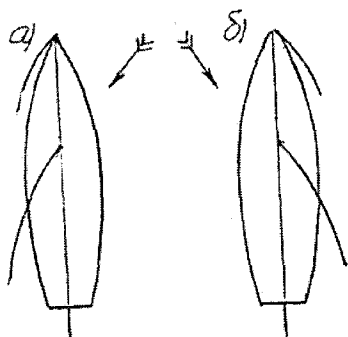


Рис. 46. Галсы правый и левый

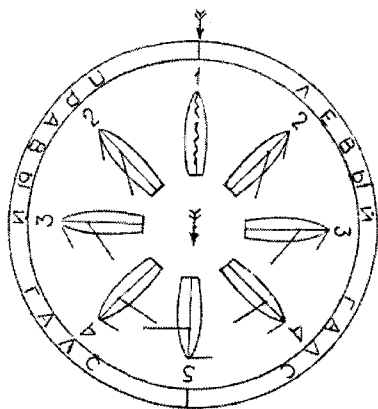


Рис. 47. Курсы парусной яхты относительно ветра

дятся на левом борту (позиция а).

Яхта идет левым галсом, если ветер дует в ее левый борт, а паруса находятся на правом борту (позиция б).

7. Курсы парусной яхты относительно ветра (рис. 47).

1 – положение яхты носом прямо или почти прямо против ветра, когда ее паруса полощут и не наполняются ветром. Такое положение называется левентик. При этом УВ равен нулю.

2 – бейдевинд, УВ равен от 0 до  $80^\circ$ .

3 – галфвинд, УВ равен  $80-100^\circ$ .

4 – бакштаг, УВ равен  $100-170^\circ$ .

5 – фордевинд, УВ равен  $170-180^\circ$ .

## 2. Действие ветра на парус

В XVIII в. ученый Д. Бернулли открыл закон сохранения энергии потока движущейся жидкости. Согласно этому закону сумма потенциальной и кинетической энергий данного потока жидкости является величиной постоянной. Потенциальная энергия жидкости выражается давлением, а кинетическая – скоростью движения частиц в ее потоке. Поэтому, если возрастает давление в потоке жидкости, то уменьшается скорость движения ее частиц. Если давление в потоке жидкости уменьшается, то скорость движения ее частиц увеличивается. Ветер является упругой жидкостью.

При обтекании паруса ветром его поток разделяется на наветренный (а) и подветренный (б) потоки (рис. 48). Парус имеет сферическую форму и располагается под некоторым углом атаки  $\alpha$  к потоку воздуха. Поэтому путь частиц воздуха в подветренном потоке (б) оказывается больше, чем путь частиц воздуха в наветренном потоке (а). Вследствие этого частицы воздуха подветренного потока движутся с большей скоростью, чем частицы воздуха на-

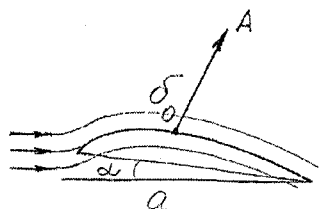


Рис. 48. Обтекание паруса ветром

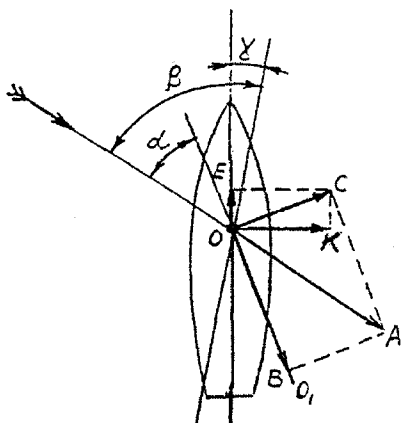


Рис. 49. Разложение равнодействующей аэродинамической силы на составляющие силы

ветренного потока. Поэтому давление воздуха в подветренном потоке оказывается меньше, чем в наветренном. Разность этих давлений создают силы, действующие на парус по направлению от наветренной в подветренную сторону паруса. Сумма этих сил называется равнодействующей аэродинамической силой. Эта сила приложена в парусу в центре давления т. О. и обозначена ОА.

Разложим равнодействующую аэродинамическую силу ОА на составляющие силы ОВ и ОС (рис. 49).

Сила ОВ – сила лобового сопротивления. Сила ОС – сила давления ветра на парус. Разложим силу ОС на составляющие силы ОЕ и ОК. Сила ОЕ двигает яхту по линии курса и называется силой тяги.

Разложим силу ОК на составляющие силы: горизонтальную ОD и вертикальную ОF (рис. 50). Сила ОF вызывает дополнительное углубление корпуса яхты. Сила ОD кренит и смещает яхту с линии курса и называется силой крена и дрейфа.

Рассмотрим действие указанных сил на яхту на различных ее курсах относительно ветра (рис. 51).

Как видно, на курсе бейдевинд (позиция а) сила крена и дрейфа значительно больше силы тяги. Поэтому яхта имеет малую скорость, значительный крен и дрейф. На полных курсах от галфвинда до фордевинда (позиции б, в, г) сила крена и дрейфа уменьшается и на фордевинде исчезает, а сила тяги возрастает и достигает наибольшего значения на фордевинде.

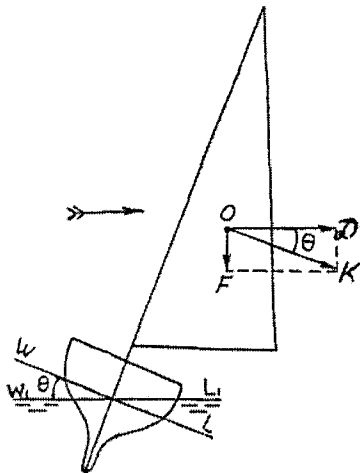


Рис. 50. Разложение силы ОК на составляющие силы



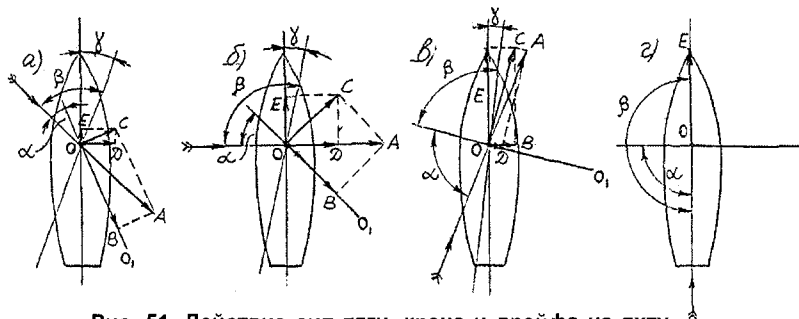


Рис. 51. Действие сил тяги, крена и дрейфа на яхту на различных ее курсах относительно ветра

### 3. Центр тяжести площади паруса

Ранее упоминалось, что аэродинамическая равнодействующая сила приложена в центре давления в т. О (рис. 48). Этот центр давления является геометрическим центром тяжести (далее центром тяжести) площади паруса.

Применяемые в парусном спорте паруса имеют формы треугольников, четырехугольников и трапеций. Треугольные и четырехугольные паруса называются косыми, а паруса в виде трапеций – прямыми.

При изменениях курсов парусного судна паруса поворачиваются вокруг: косые – передних шкаторин, а прямые – своей оси симметрии. Работа с парусами производится: с косыми на палубах, а с прямыми на мачтах.

Определение положения центров тяжести (ЦТ) парусов производится аналитическим и графическим способами. Далее описываются графические способы как наиболее удобные, не требующие сложных вычислений.

Центр тяжести площади треугольного паруса (рис. 52) находится на пересечении его медиан. Для его определения делят пополам две любые стороны треугольника ABC (в данном примере AB и BC). Полученные точки D и E соединяют линиями соответственно с точками A и C. В пересечении линий AE и CD получают точку О – центр тяжести площади треугольного паруса.

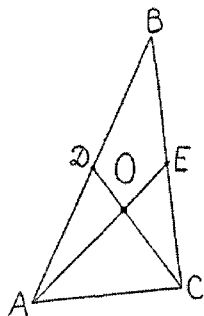


Рис. 52. Центр тяжести площади треугольного паруса

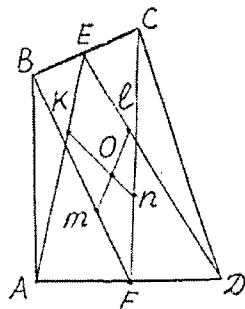


Рис. 53. Центр тяжести площади четырехугольного паруса

Для определения ЦТ площади четырехугольного паруса (рис. 53) делят пополам линии  $BC$  и  $AD$ . Получают точки  $E$  и  $F$ . Соединяют линиями точку  $F$  с точками  $B$  и  $C$ , точку  $E$  с точками  $A$  и  $D$ . На линиях  $AE$  и  $DE$  откладывают от точки  $E$  отрезки, равные  $1/3$  длины этих линий, и полученные точки обозначают буквами  $K$  и  $l$ . На линиях  $BF$  и  $CF$  откладывают от точки  $F$  отрезки, равные  $1/3$  длины этих линий, и обозначают полученные точки буквами  $m$  и  $n$ . Соединяют линиями точки  $m$  и  $l$ ,  $K$  и  $n$ . В пересечении линий  $ml$  и  $kn$  находится точка  $O$  – центр тяжести площади четырехугольного паруса.

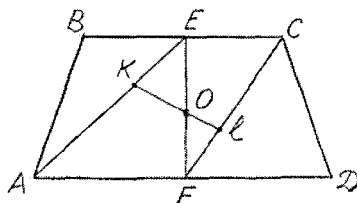


Рис. 54. Центр тяжести площади прямого паруса

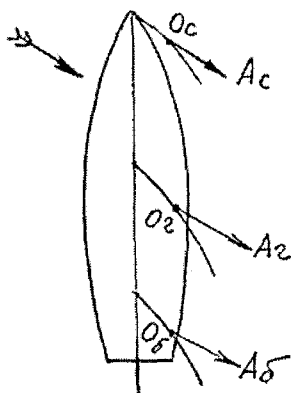


Рис. 55. Система параллельных сил тяги парусов

Для определения ЦТ площади прямого паруса (рис. 54) делят пополам линии  $BC$  и  $AD$ . Полученные точки  $E$  и  $F$  соединяют линией  $EF$ , которая является осью симметрии паруса. Соединяют точку  $E$  с точкой  $A$ , а точку  $F$  с точкой  $C$ . Получают линии  $AE$  и  $FC$ . На линии  $AE$  откладывают от точки  $E$  отрезок, равный  $1/3$  длины этой линии, и полученную точку обозначают буквой  $K$ . На линии  $CF$  откладывают от точки  $F$  отрезок, равный  $1/3$  длины этой линии, и полученную точку обозначают буквой  $l$ . Соединяют точки  $K$  и  $l$  линией. В пересечении линии  $EF$  и  $Kl$  находится точка  $O$  – центр тяжести площади прямого паруса.

#### 4. Центр парусности

Допустим, что на ходу парусная яхта (рис. 55) несет стаксель, грот и бизань. Обозначим центры тяжести парусов: стакселя –  $O_c$ , грота  $O_r$ , бизани –  $O_b$  и их равнодействующие аэродинамические силы соответственно  $A_c$ ,  $A_r$ ,  $A_b$ . Эти силы образуют систему параллельных сил, направленных в одну сторону. Равнодействующая этих сил равна их сумме и приложена в центре тяжести общей площади парусов, т. е. в центре парусности (ЦП).

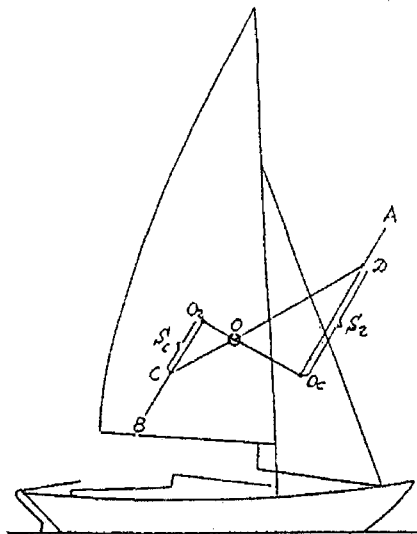


Рис. 56. Графический способ определения центра парусности

Геометрическое положение ЦП определяется графическим и аналитическим способами. Первый способ применяется для парусных судов с небольшим количеством парусов, а второй – для судов с развитой парусностью, где многочисленные графические построения усложняют работу.

### Графический способ

Порядок действий (рис. 56):

- 1) Определяют площади стакселя  $S_c$  и грота  $S_g$  в  $m^2$ .
- 2) Определяют центры тяжести площадей стакселя, грота и обозначают их точками  $O_c$  и  $O_g$ .

3) Соединяют точки  $O_c$  и  $O_g$  линией  $O_c O_g$ .

4) На концах линии  $O_c O_g$  в разные стороны восстанавливают перпендикуляры  $O_c A$  и  $O_g B$ .

5) Откладывают в масштабе площади парусов: на перпендикуляре  $O_c A - S_g$ , а на перпендикуляре  $O_g B - S_c$  и отмечают их величины точками D и C.

6) Точки C и D соединяют линией CD. В пересечении линий  $O_c O_g$  и CD в точке O находится ЦП яхты.

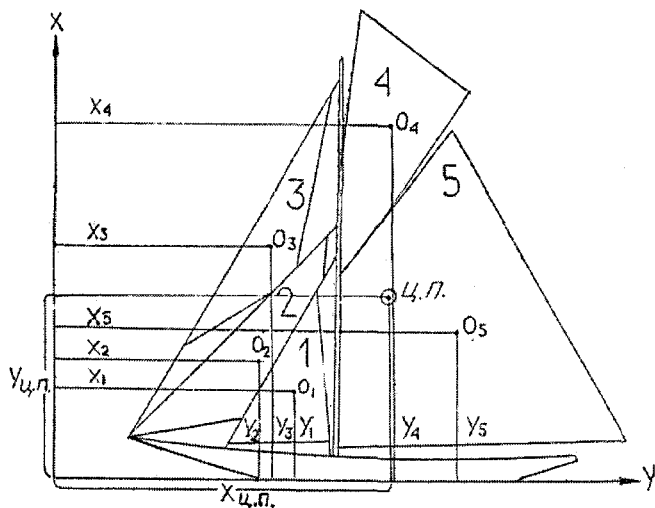


Рис. 57. Аналитический способ определения центра парусности

**Аналитический способ**

Порядок действий (рис. 57):

- 1) Обозначают паруса номерами 1, 2, 3, 4, 5.
- 2) Определяют площади парусов и обозначают их  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$ .
- 3) Определяют центры тяжести площадей парусов 1, 2, 3, 4, 5 и обозначают их точками  $O_1, O_2, O_3, O_4, O_5$ .
- 4) Определяют ординаты центров тяжести площадей парусов  $y_1, y_2, y_3, y_4, y_5$ .
- 5) Определяют абсциссы центров тяжести площадей парусов  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$ .
- 6) Умножают площади парусов на их ординаты  $S \cdot y_1, S \cdot y_2, S \cdot y_3, S \cdot y_4, S \cdot y_5$ .
- 7) Находят сумму площадей  $\Sigma S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5$ .
- 8) Находят сумму произведений площадей парусов на их ординаты  $\Sigma S \cdot y = S_1 \cdot y_1 + S_2 \cdot y_2 + S_3 \cdot y_3 + S_4 \cdot y_4 + S_5 \cdot y_5$ .
- 9) Определяют ординату ЦП  $y_{\text{цп}}$  делением  $\Sigma S \cdot y$  на  $\Sigma S$  и наносят ее на чертеж парусности (рис. 57).

$$y_{\text{цп}} = \frac{\Sigma S y}{\Sigma S}$$

- 10) Умножают площади парусов на их абсциссы  $S \cdot x_1, S \cdot x_2, S \cdot x_3, S \cdot x_4, S \cdot x_5$ .
- 11) Находят сумму произведений площадей парусов на их абсциссы  $\Sigma S \cdot x = S_1 \cdot x_1 + S_2 \cdot x_2 + S_3 \cdot x_3 + S_4 \cdot x_4 + S_5 \cdot x_5$ .
- 12) Определяют абсциссу ЦП  $x_{\text{цп}}$  делением  $\Sigma S \cdot x$  на  $\Sigma S$  и наносят ее на чертеж парусности (рис. 57).

$$x_{\text{цп}} = \frac{\Sigma S x}{\Sigma S}$$

- 13) Параллельно осям координат  $x$  и  $y$  из концов ординаты  $y_{\text{цп}}$  и абсциссы  $x_{\text{цп}}$  проводят линии, в пересечении которых находится ЦП.

Следует отметить, что абсцисса  $x_{\text{цп}}$  определяет уравновешенность, управляемость и ходкость, а ордината  $y_{\text{цп}}$  — способность яхты нести паруса.

Необходимо иметь в виду, что фактическое положение ЦП, как правило, не совпадает с его геометрическим положением. На практике положение ЦП зависит от многих факторов: курсов яхты относительно ветра, углов атаки, количества, размеров и расположения работающих парусов,

структуры и силы ветра, качки и т.д. Но тем не менее в конструкторских расчетах геометрическое положение ЦП используется для оценки мореходных качеств яхты.

### 5. Действие на яхту сил тяги и продольного сопротивления воды

Сила тяги  $T$  (рис. 58) двигает яхту по курсу. При этом корпус яхты испытывает сопротивление воды в виде силы продольного сопротивления  $R$  (см. рис. 24). Сила  $R$  приложена в центре тяжести  $G$  яхты и направлена против ее движения. Так как яхта идет с креном, то сила тяги  $T$  и сила продольного сопротивления воды  $R$  расположены в наклонной плоскости. Эти силы образуют пару сил. Рассмотрим действие этой пары сил на яхту. Для этого разложим эту пару сил на составляющие. С этой целью в точках  $A$  и  $E$  прямоугольного параллелепипеда приложим силы  $T$  и  $R$  (рис. 59). Расстояние  $AE$  является плечом пары, расположенной в наклонной плоскости  $ABKE$ . В данном случае это диаметральной плоскости наклоненной яхты.

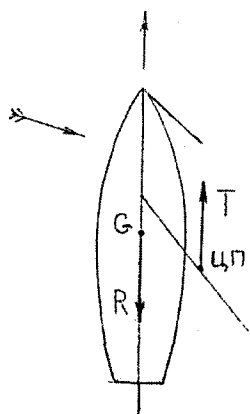


Рис. 58. Сила тяги и сила продольного сопротивления воды

Приложим в точке  $D$  две противоположно направленные и одинаковые по величине силы  $T$ . Разложим пару  $T \cdot AE$  на горизонтальную пару сил  $T \cdot AD$  и вертикальную пару сил  $T \cdot DE$ .

Горизонтальная пара сил  $T \cdot AD$  разворачивает параллелепипед в горизонтальной плоскости, а вертикальная пара сил  $T \cdot DE$  – в вертикальной плоскости. Таким образом, пара сил  $T \cdot AE$  одновременно приводит и дифференцирует на нос яхты. При этом яхта тем сильнее приводится, чем больше ее крен, так как с его увеличением возрастает плечо  $AD$  приводящей пары. Из-за этого для удержания на курсе приводящейся яхты приходится отклонять перо ее руля под ветер. И чем больше угол крена яхты, тем на больший угол от диаметральной плоскости должно быть отклонено перо руля. Но руль оказыва-

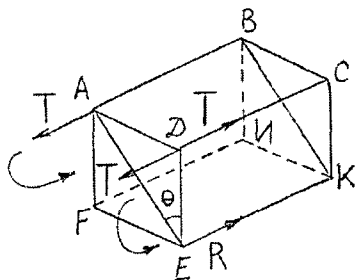


Рис. 59. Разложение пары сил, лежащей в наклонной плоскости, на составляющие пары сил

ет и тормозящее действие, которое возрастает с увеличением угла отклонения его пера (см. рис. 19). В итоге яхта, несущая при сильном ветре излишнюю парусность и поэтому идущая с большим креном, «лежит на руле» из-за чего теряет в скорости. Следует отметить, что наибольшие величины приводящей и дифференцирующей пар сил возникают на курсе фордевинд. Это вызвано тем, что на данном

курсе сила тяги достигает наибольшего значения, а ЦП оказывается смещенным на значительное расстояние от направления силы продольного сопротивления воды. Это подтверждается сравнением величин приводящих пар сил на бейдевинде и фордевинде (рис. 60, позиции а и б).

Кроме вышеуказанных явлений, излишняя парусность вызывает повышенные нагрузки на конструкции яхты (корпус, рангоут, паруса, такелаж) и поэтому может быть причиной ее аварии. Об умении капитана парусной яхты управлять ею говорит немецкая пословица: «Моряка видно по тому, как он лавируется и когда берет рифы».

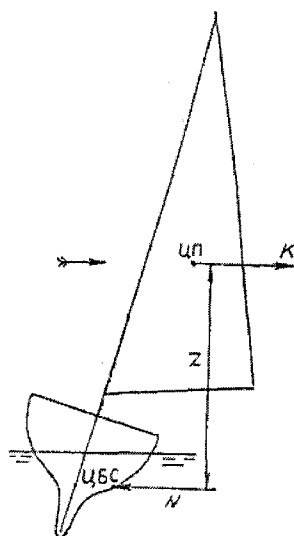


Рис. 61. Сила бокового сопротивления воды

## 6. Действие на яхту сил крена и дрейфа, бокового сопротивления воды

Сила крена и дрейфа  $OD$  (см. рис. 50) кренит и сносит яхту с линии курса. Обозначим эту силу буквой  $K$  (рис. 61). Боковому смещению яхты препятствует вода, которая оказывает давление на подводную часть корпуса яхты. равнодействующая сил давления воды называется силой

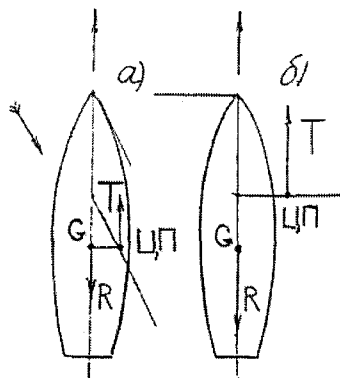


Рис. 60. Величина приводящих пар сил на бейдевинде и фордевинде



Рис. 62. Центр бокового сопротивления

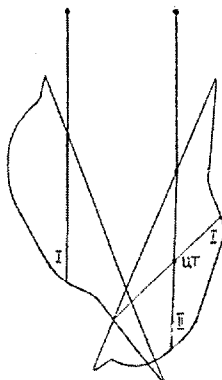


Рис. 63. Определение центра бокового сопротивления

бокового сопротивления воды. Эта сила равна силе крена и дрейфа, противоположно ей направлена и обозначается буквой  $N$ . Сила бокового сопротивления воды приложена в геометрическом центре тяжести площади проекции подводной части корпуса на диаметральную плоскость, включая площади балластного кия, шверта и пера руля. Эта точка называется центром бокового сопротивления (ЦБС) (рис. 62).

## 7. Центр бокового сопротивления

Положение ЦБС определяют расчетом или способом подвешивания копии площади проекции подводной части корпуса на диаметральную плоскость. Этот способ применяют в практике кораблестроительных расчетов в случаях необходимости определения центров тяжести площадей поперечных сечений отсеков судна, имеющих сложную форму. Для этого вырезанную из картона в масштабе форму указанной площади (рис. 63) подвешивают поочередно в двух противоположных точках. Пересечение отвесных линий  $I$  и  $II$  определяет положение центра тяжести фигуры, т.е. ЦБС.

Положение ЦБС влияет на остойчивость и управляемость яхты. У крейсерских яхт из-за сложной и неизменной при любых условиях плавания формы подводной части корпусов положение ЦБС изменяется мало. У мелкоосидящих с простой формой подводных частей корпусов швертботов, шестивесельных ялов изменение положения ЦБС достигается за счет подъема или опускания шверта, отклонения или снятия руля, а также изменения дифферента.

## 8. Способность яхты нести паруса, центровка яхты

Силы  $K$  и  $N$  образуют пару сил, расположенную в наклонной плоскости (рис. 64). Эта пара может быть заменена вертикальной и горизонтальной парами сил.

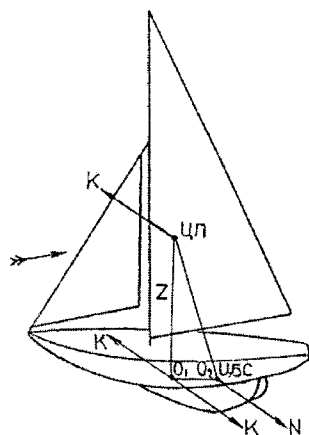


Рис. 64. Вертикальная и горизонтальная пары сил, действующие на яхту

Вертикальная пара сил  $K \cdot Z$ , где  $Z$  возвышение ЦП над ЦБС, накренивает яхту. Так как поперечная остойчивость яхты зависит от величины площади ее конструктивной ватерлинии, то размер этой площади определяет возможность яхты нести парусность определенных размеров. Например, для яхт с плавниковым килем и обводами швертботного типа площадь парусности в первом приближении определяется согласно рекомендациям, указанным в книге «Постройка яхт» (авторы К. Рейнеке и др. – Ленинград: «Судостроение», 1986), по формуле:  $S = m \cdot L \cdot B$ , где  $S$  – площадь парусности,  $m^2$ ,  $m$  – эмпирический коэффициент;  $L$  – длина яхты по конструктивной ватерлинии (КВЛ, м);  $B$  – ширина яхты по КВЛ, м.

В этой книге приведены величины  $m$  для яхт различных типов. Так, для яхт Северного моря и Балтики  $m = 2,0$ , а для гоночных яхт – как указано ниже:

«Солинг»	2.32	«Фолькбот»	2.16
«Звездник»	4.18	«Олимпик»	1.88
«Темпест»	2.80	«Летучий Голландец»	2.09
«Дракон»	2.47	«505»	2.45
«R 12»	3.67	«Катамаран «Торнадо»	1.95

У крупных современных парусных судов, описанных в книге «Операция парус» (автор И.Г.Шнейдер, «Судостроение», 1977), величины коэффициентов  $m$  находятся в пределах 1.3 – 2.8.

Кренящему моменту  $K \cdot Z$  противодействует восстанавливающий момент пары  $D \cdot h \cdot \sin \theta$  (см. рис. 14), где  $D$  – сила поддержания,  $h$  – поперечная метацентрическая высота,  $\theta$  – угол крена (рис. 65). Величина  $D \cdot h / K \cdot Z = a$  называется коэффициентом способности нести паруса. Этот коэффициент должен быть всегда больше единицы для создания запаса поперечной остойчивости парусной яхты. Поэтому при усилении ветра надо немедленно уменьшать парусность. Признаком излишней парусности является постоянное нахождение в воде ватервейса подветренного борта.

Горизонтальная пара сил  $K$  и  $N$  с моментом  $K \cdot O_1 O_2$  (см. рис. 64), где

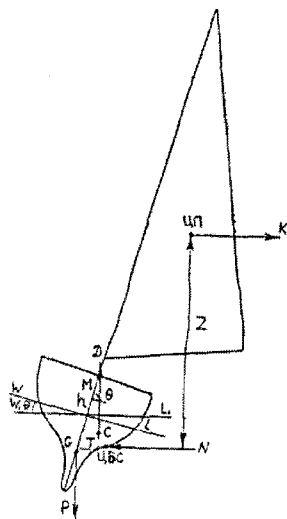


Рис. 65. Кренящий и восстанавливающий моменты, действующие на яхту



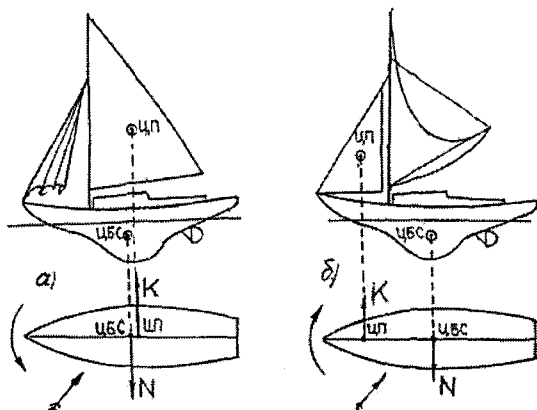


Рис. 66. Действие на яхту горизонтальной пары сил в зависимости от взаимного расположения ЦП и ЦБС

отрезок  $O.O_2$  – расстояние по длине яхты, а  $K$  – сила крена и дрейфа, разворачивает яхту в горизонтальной плоскости в зависимости от взаимного расположения ЦП и ЦБС. Яхта приводится (позиция а) или уваливается (позиция б, рис. 66).

### 9. Совместное действие различных пар сил на яхту

При движении парусного судна на него одновременно действуют приводящие и уваливающие пары сил, создаваемые силами тяги, крена и дрейфа, продольного и бокового сопротивления воды. На рис. 67 показано совместное действие пар сил на парусное судно в зависимости от

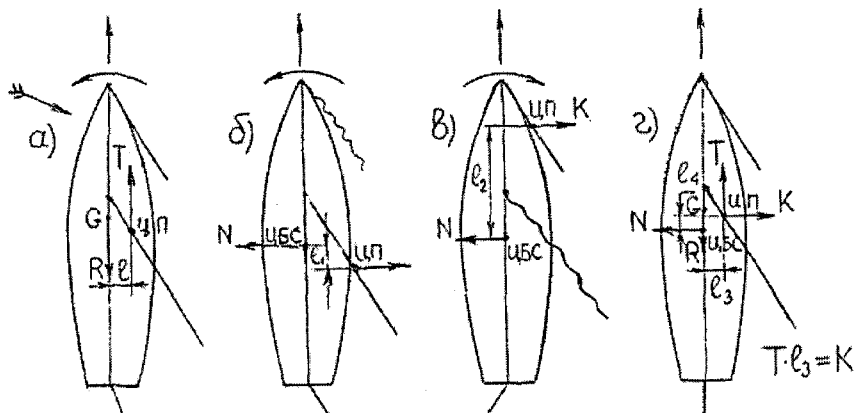


Рис. 67. Совместное действие уваливающей и приводящей пар сил на парусное судно

взаимного расположения его ЦП и ЦБС.

Силы тяги  $T$  и продольного сопротивления воды  $R$  образуют приводящую пару с моментом  $T \cdot l$  (позиция а).

Силы крена и дрейфа  $K$  и бокового сопротивления воды  $N$  образуют:

1) приводящую пару с моментом  $K \cdot l_1$  при расположении ЦП в корму от ЦБС (позиция б);

2) уваливающую пару с моментом  $K \cdot l_2$  при расположении ЦП в нос от ЦБС (позиция в).

Смещением ЦП и ЦБС можно добиться равенства приводящего и уваливающего момента, т.е.  $T \cdot l_3 = K \cdot l_4$  (позиция г). В этом случае судно окажется уравновешенным и при руле, поставленном «прямо», будет идти по заданному курсу. Такое равенство моментов возможно при определенном расположении ЦП в нос от ЦБС. Так, у правильно уравновешенной (отцентрированной) крейсерско-гоночной яхты ЦП должен располагаться в нос от ЦБС на расстояние, равное до 18% длины ее конструктивной ватерлинии (рис. 68).

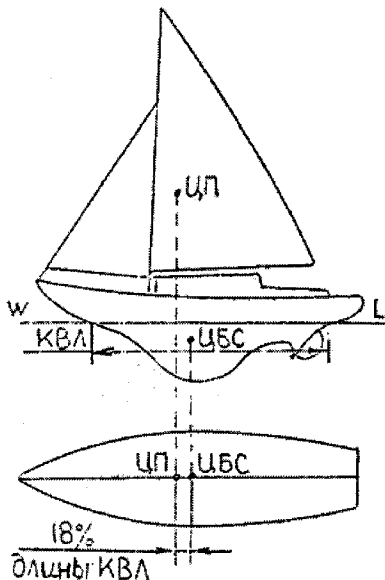


Рис. 68. Взаимное расположение ЦП и ЦБС у отцентрированной яхты

На практике трудно добиться необходимого взаимного расположения ЦП и ЦБС для уравновешивания крупных парусных судов. Это вызвано тем, что ЦБС является ЦТ площади проекции боковой поверхности корпуса судна на диаметральную плоскость. Поэтому перемещение ЦБС возможно при изменении формы этой большой площади. Но чтобы такое изменение произошло, крупному судну надо иметь значительный дифферент, что практически невозможно. В связи с этим улучшение управляемости таких судов осуществляется только перемещением ЦП за счет маневрирования парусами. Однако при этом достичь равенства приводящего и уваливающего моментов не удастся. Поэтому для удержания судна на курсе разность этих моментов приходится компенсировать моментом руля (см. рис. 19).

Одной из мер, улучшающих управляемость крупных парусных су-

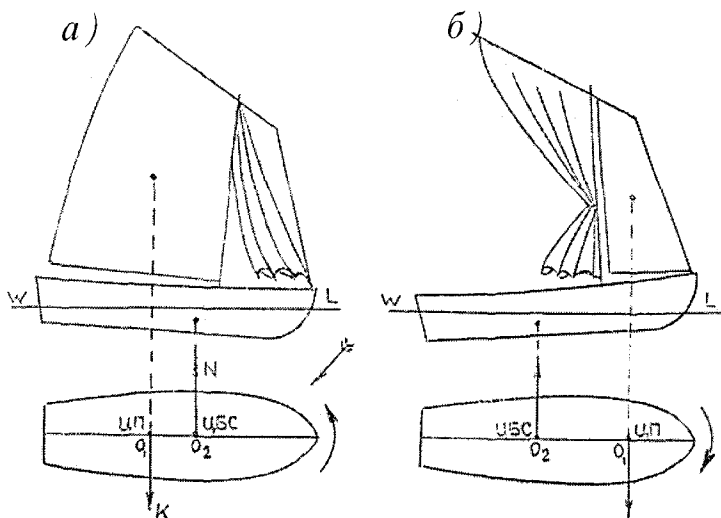


Рис. 69. Повороты парусной шлюпки без руля

дов с прямым вооружением, является установка их мачт с небольшим уклоном в корму. Вследствие этого при уборке парусов происходит перемещение ЦП в нос, что особенно важно в свежую погоду, так как при этом увеличивается плечо уваливающей пары (см. рис. 67, позиция в). Одновременно с уменьшением площади парусности уменьшается угол крена и, следовательно, плечо приводящей пары (см. рис. 67, позиция г). В результате разность приводящего и уваливающего моментов уменьшается, что улучшает управляемость судна.

На крупном парусном судне попеременной работой его носовых и кормовых парусов можно осуществить значительное смещение ЦП по длине судна в нос или в корму. Таким образом, при умелом управлении только парусами такое судно можно повернуть без руля. Об этом в своих воспоминаниях рассказал русский адмирал С.О. Макаров. Во время учебы в Морском корпусе он в числе других гардемарин проходил практику на одном из парусных фрегатов русской эскадры на Тихом океане. На этом фрегате держал свой флаг командующий эскадрой адмирал Ендогуров. Однажды фрегат не смог выполнить поворот оверштаг. На вопрос адмирала, почему не поворачивает фрегат, его командир доложил, что фрегат не слушается руля. Тогда адмирал приказал закрепить руль в положении «прямо» и, командуя парусами, повернул фрегат.

## 10. Особенности управления парусными шлюпками, швертботами и килевыми яхтами

На небольших парусных судах из-за особенностей их конструкций возможно значительное смещение ЦП и ЦБС по длине судна. Это позволяет не только увеличивать скорость, улучшать маневренность таких судов, но даже управлять некоторыми из них без рулей. Например, на шестивесельных ялах под парусами перемещением экипажа («живого балласта») можно быстро, легко и с большой точностью на любом курсе установить, а затем корректировать по силе и направлению ветра необходимый дифферент на нос или на корму для достижения равенства приводящего и увеличивающего моментов. В результате этого шлюпка будет идти заданным курсом при руле в положении «прямо» или без руля (см. рис. 67, позиция г).



Рис. 70. Положение ЦБС при опущенном 1 и поднятом 2 шверте

Повороты без руля на шлюпке (рис. 69, позиция а, б) производят значительным смещением ЦП и ЦБС по длине шлюпки созданием дифферентов и маневрированием парусами.

Так, для приведения шлюпки создают дифферент на нос, раздергивают кливер-шкот и выбирают фока-шкот. При этом ЦБС смещается в нос, а ЦП – в корму. Под действием приводящего момента  $K \cdot O_1 \cdot O_2$  шлюпка приводится (позиция а).

Для уваливания шлюпки создают дифферент на корму, фок растравливают или берут к мачте, кливер-шкот обтягивают. При этом ЦБС смещается в корму, а ЦП – в нос. Под действием уваливающего момента  $K \cdot O_2 \cdot O_1$  шлюпка уваливается (позиция б).

При управлении швертботом на разных курсах можно увеличить его скорость изменениями положений ЦП и ЦБС. Например, подъемом шверта (рис. 70) уменьшается плечо кренящего момента  $Z$  на величину  $\Delta Z$  (рис. 71).

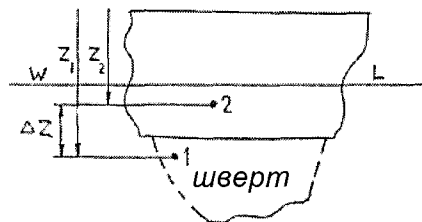


Рис. 71. Уменьшение величины плеча кренящего момента из-за подъема шверта

Вследствие этого на швертбот действует меньший кренящий момент  $K \cdot Z_2$ , где  $Z_2 = Z_1 - \Delta Z_1$ , уменьшаются угол крена и плечо приво-

дящего момента, в результате этого скорость швертбота увеличивается, так как уменьшается тормозящее влияние руля.

Ранее (см. рис. 60) упоминалось, что на курсе фордевинд приводящая и дифференцирующая пары имеют наибольшие значения. Это явление затрудняет управление яхтой и снижает ее скорость за счет непрерывной работы руля для удержания яхты на курсе. Величину приводящего момента  $T \cdot l$ , действующего на швертбот (рис. 72, позиция а), можно уменьшить его отклонением на ветер (позиция б). В результате этого плечо  $l$  уменьшится до величины  $l_1$  или исчезнет. Кроме того, наклоненный швертбот будет поворачивать в сторону повышенного борта и этим противодействовать приводящему моменту. В итоге скорость швертбота увеличится.

На фордевинде швертбот испытывает большой дифференцирующий момент на нос. Из-за остроты носовых обводов корпуса швертбота это приводит к уменьшению его площади действующей ватерлинии, что снижает остойчивость швертбота. Поэтому на полных курсах, и особенно на фордевинде, надо для сохранения остойчивости швертбота смещать его экипаж в корму для углубления более полных кормовых обводов.

Несколько слов об особенностях поведения яхты на курсе форде-

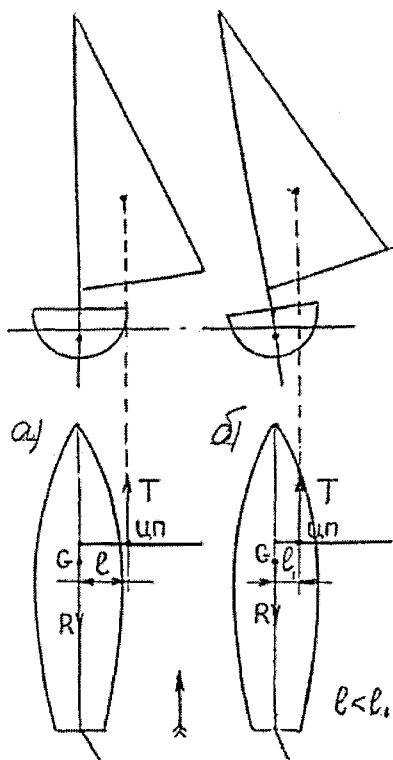


Рис. 72. Уменьшение величины приводящей пары на фордевинде отклонением на ветер

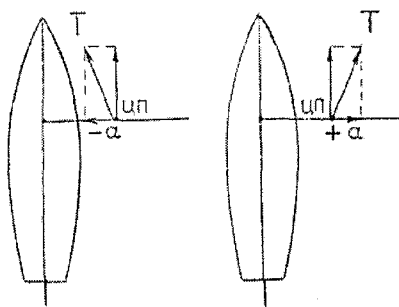


Рис. 73. Силы ветра, вызывающие раскачивание яхты на курсе фордевинд

винд, мерах безопасности и улучшения управляемости яхты. На курсе фордевинд яхта сильно раскачивается вследствие действия на нее:

1) горизонтальных сил —  $a$  и  $+a$ , возникающих из-за изменения давления на подветренной стороне паруса, и положения тяги  $T$  (рис. 73);

2) восстанавливающей пары сил веса яхты  $P$  и поддержания  $D$ , возникающей из-за периодического колебательного изменения формы подводной части корпуса яхты набегающими волнами (рис. 74).

Эти раскачивания затрудняют управление яхтой и особенно опасны для швертбота. Так, при совпадении периодов колебаний волн с периодом собственных колебаний швертбота он может опрокинуться или произойти непроизвольный поворот через фордевинд.

На крейсерской яхте для избежания перебрасывания грота в таких случаях гик надо фиксировать оттяжкой 2, заведенной на битенг 1 (рис. 75).

Для предотвращения или уменьшения рыскания крейсерской яхты на фордевинде следует уменьшать плечо приводящего момента  $T \cdot l_1$  (рис. 76, позиция а) постановкой стакселя «на бабочку» (позиция б), спинакера (позиция в), а также пассатных стакселей (позиция г) или двойных гротов. Использование пассатных стакселей и двойных гротов целесообразно при плавании яхты длинными галсами в районах моря с устойчивыми попутными ветрами во время крейсерских гонок или дальних походов. В обычных условиях плавания эти стаксели и гроты складываются

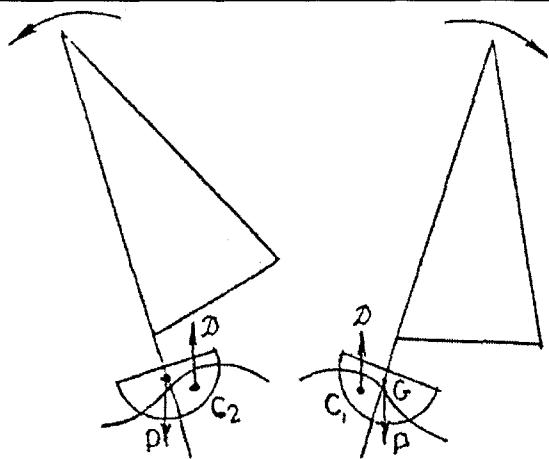


Рис. 74. Качка яхты под действием восстанавливающих пар сил на волнении

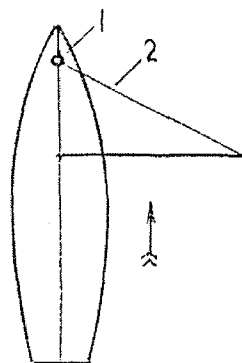


Рис. 75. Закрепление гика оттяжкой на курсе фордевинд

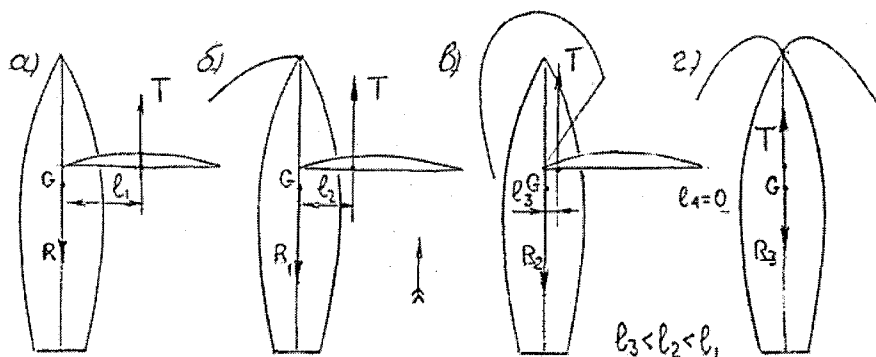


Рис. 76. Способы уменьшения рыскливости яхты на курсе фордевинд

вместе и работают как один парус.

При оценке коэффициента способности нести паруса упоминалось о поперечной остойчивости яхты. Ее величина ограничивает размеры парусности на острых курсах. В теории корабля известно, что продольная остойчивость судна намного превышает его поперечную остойчивость (за исключением катамаранов). Так как на курсе фордевинд в действие вступает продольная остойчивость, то в этом случае яхта может безопасно нести избыточную парусность в виде дополнительных парусов (спинакера, толлбоя, ричера и т.д.). Однако если яхта с такой избыточной парусностью рыскнет к ветру, то может получить опасный крен или опрокинуться.

## ЛИТЕРАТУРА

Авраамов Н.Ю. Шлюпочное дело. – Москва: Воениздат Военно-Морского Министерства Союза ССР, 1951.

Акимов Р.Н. и др. Справочник моториста. – Москва: Воениздат МО СССР, 1972.

Вешкельский С.А. Справочник судового дизелиста. – Ленинград: «Судостроение», 1990

Герасимов А.В. и др. Основы теории корабля. – Москва: Воениздат МО Союза ССР, 1958.

Ерлыкин И. И. и др. Катер с водомётным двигателем. – Ленинград: «Судостроение», 1989.

Жуковский Г. Р. Океанография для судоводителей. – Ленинград: Государственное издательство водного транспорта, 1953.

Загайкевич Д.Н. Теория корабля. – Ленинград: Государственное издательство судостроительной литературы, 1953.

Лукашевич А. и др. Теория корабля. – Ленинград: «Судпромгиз», 1953.

Лучанский И.А. и др. От весла до водомёта. – Ленинград: «Судостроение», 1964.

Мархай Ч. Теория плавания под парусами. – Москва: Изд. «Физкультура и спорт», 1966.

300 советов по катерам, лодкам и моторам. – Ленинград: Изд. «Судостроение», 1974.



**Акимов Юрий Николаевич**  
**Теория корабля для яхтсменов и капитанов катеров**  
Учебное пособие  
(рос. мовою)

Частное предприятие оказывает помощь: набор, верстка, корректура, литературная обработка, подготовка рукописей к печати, выдача оригинал-макета, размещение заказов в типографии. **Тел. 8050-254-39-49.**



В библиотеке литературно-публицистического альманаха «Маринист» выходят книги в сериях: **Замечательные корабли, Герои Отечества, Славные даты и дела Флота России, Патриоты Флота и Севастополя, Пришло время рассказать...**

По вопросам издания материалов флотской тематики обращаться по тел.: **(0692) 54-33-93.**



Начал работу  
**www.gloriainform.ru**

сайт Сергея Горбачева, члена Союза писателей России,  
члена Федеративного Совета Союза журналистов России,  
лауреата престижных литературных и журналистских премий,  
автора книг и публикаций в СМИ по истории флота,  
проблемам статуса Севастополя и Крыма.

**Вам предлагается интересная, в т.ч. эксклюзивная, информация:**

- Новости(Причерноморье, ЧФРФ и ВМС других стран);
- История (неизвестные страницы: Крым, Севастополь, Флот);
- В центре внимания (актуальные общественно-экономические и военно-политические проблемы, геополитика);

- Банк данных (документы, хроника, события, люди) по региональной проблематике;
- Фотоальбом (фотографии, в т.ч. раритетные и эксклюзивные).
- А ТАКЖЕ МНОГОЕ ДРУГОЕ.**

**БУДЬТЕ С НАМИ!**

Здано до набору 9.09.2006 р. Підписано до друку 14.09.2006 р.  
Формат 300×420 1/4. Папір офсетний. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 3,5. Обл. вид.-арк. 4,25.  
Тираж 200 прим. Замовлення № 55. Ціна договірна.

Віддруковано у друкарні ЧП Кручинін Л.Ю.,  
Севастополь, тел.: 8-050-637-49-90 (Св. видавництва ДК № 1266 от 13.03.2003 р.)

## Замеченные в брошюре опечатки

Номер рисунка, таблицы, страницы	Напечатано	Следует читать
Рис. 8, стр. 9.	Изображение силы $P$ дано без обозначения ее точки приложения.	Точка $O$ в начале вектора силы тяжести $P$ .
Рис. 15, стр. 14.	<i>Подпись под рисунком:</i> Уменьшение площади действующей ватерлинии судна вследствие его нахождения на	<i>Подпись под рисунком:</i> Уменьшение площади действующей ватерлинии судна вследствие его нахождения на вершине попутной волны.
Таблица 1, стр. 15.	Величина остойчивости веса $-c'a \sin \theta$ $-c'a \sin \theta$	Величина остойчивости веса $-p'a \sin \theta$ $+p'a \sin \theta$
Стр. 26, 11-я строчка сверху	Период волны $\tau$	Период волны $\tau$
Стр. 26, 14-я строчка сверху	$C = \frac{\lambda}{\tau}$	$C = \frac{\lambda}{t}$
Стр. 43, 23-я строчка сверху	Определяют абсциссе	Определяют абсциссу
Стр. 53, 13-я строчка сверху	Положения тяги $T$	Положение силы тяги $T$



Яхтенный капитан Р.Н. Акимов родился в 1921 году. Парусным спортом начал заниматься в 1927 г. в Таганрогском яхт-клубе. В 1939 г. получил диплом яхтенного капитана. Стаж занятий парусным спортом 70 лет. Участник многих плаваний и гонок на крейсерско-гоночных яхтах по Азовскому, Черному и Каспийскому морям.

Инженер-капитан 1 ранга в отставке. Соавтор выпущенных Воениздатом: учебника «Основы военно-морского дела» (1961 г.) и «Справочника моториста» (1965 г.) Автор ряда статей по парусному спорту, теории корабля и такелажному делу, опубликованных в журналах «Катера и яхты», «Шкипер».



**МАГАЗИН „МОРСКОЙ“**

тел. 8 (0692) 54 23 85

моб: 8 (050) 498 05 97

e-mail: sasa66@bios.iuf.net