

и «Спарты» (Рига, капитан мастер спорта международного класса А. Чечулин), которая заняла третье место в своей группе.

Для подготовки яхтенных капитанов в свое время было издано два учебных пособия: книга Б. Б. Лобач-Жученко «Морские плавания на парусных яхтах»* и труд коллектива авторов «Школа яхтенного капитана»**. Эти учебники, хотя и ориентировали в основном на прибрежные плавания, сыграли определенную положительную роль в теоретической подготовке яхтенных капитанов в 50—70 гг.

В предлагаемом вниманию яхтсменов втором, переработанном и дополненном, издании «Школы яхтенного капитана» учтены критические отзывы и пожелания, полученные после выхода в свет первого издания. Все главы, по существу, написаны заново, с учетом изменений в теории и технике, а также накопленного опыта плаваний. В связи с отрывом во время плаваний от берегов в раздел «Яхтенное судовождение» включена глава «Морская астронавигация». Так как наши яхты все чаще плавают в иностранных водах и посещают порты других стран, введена глава «Основы морского права».

В основу второго издания «Школы яхтенного капитана» была положена программа «Парусный спорт» для спортивных факультетов институтов физической культуры. В книге не приводятся сведения, входящие в подготовку яхтенных рулевых, за исключением некоторых вопросов из теории корабля, морской практики и связи. Желающим более полно познакомиться с изучаемыми предметами предлагается список рекомендуемой литературы.

Таким образом, яхтсмены, имеющие квалификацию яхтенного рулевого I класса и опыт плавания на крейсерских яхтах в экипаже, найдут в этом учебнике тот необходимый минимум теоретических знаний и практических рекомендаций, который нужен яхтенному капитану в плавании как в видимости берегов, так и в открытом море.

Книга написана Д. А. Курбатовым (гл. 1, 2, 3), В. В. Чайкиным (гл. 4), Е. П. Леонтьевым (гл. 5, 8), Б. Г. Мордвиновым (гл. 6), Р. А. Скубко (гл. 7), К. Г. Бойковым (гл. 9) и И. Г. Шнейдером (гл. 10). Общая редакция проведена Е. П. Леонтьевым.

Авторский коллектив благодарит яхтенных капитанов Б. С. Немирова и Н. В. Григорьева за рецензирование книги и отдельных глав в рукописи, а также Ю. С. Ацерова, В. П. Заколодяжного, В. Т. Кондрашихина, Л. В. Забурдаева и Е. Б. Хромченко за активную помощь в работе над книгой.

* Лобач-Жученко Б. Б. Морские плавания на парусных яхтах. М., «ДОСААФ», 1956.

** Школа яхтенного капитана. М., «ФиС», 1968.

I. ОСНОВЫ ТЕОРИИ И УСТРОЙСТВО КРЕЙСЕРСКИХ ЯХТ

Глава 1 ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПАРУСНОЙ ЯХТЫ

1.1. Требования, предъявляемые к парусной яхте

К уровню комфорта и оборудования на борту парусных яхт, в частности крейсерско-гоночных классов, предъявляются известные требования в соответствии с их назначением. Однако самый высокий уровень комфорта, самые совершенные приспособления для настройки парусов, самые современные электронные приборы для управления яхтой окажутся бесполезными, если она не будет обладать мореходными качествами, которые гарантируют безопасность плавания при условиях, определенных районом плавания и назначением яхты.

Яхта должна принимать определенную нагрузку, сохраняя достаточную высоту надводного борта, чтобы не быть залитой на волне. Она должна противостоять давлению ветра на паруса, чтобы не быть опрокинутой внезапно налетевшим шквалом. От яхты требуется хорошая маневренность в тесной гавани и послушность рулю на штормовой волне. Она должна поддерживать возможно более высокую скорость при любых условиях и быть способной идти круто к ветру. Все это и составляет важнейшие мореходные качества: плавучесть, непотопляемость, остойчивость, ходкость, управляемость, поведение при волнении, способность нести паруса.

Изучение этих качеств является

предметом специальной науки — теории корабля. Эта наука определяет также элементы, которые составляют отдельные мореходные качества и которые позволяют оценивать их количественно. Наконец, теория корабля устанавливает связь между формой корпуса судна и характеристиками его мореходных качеств.

В настоящей главе приводятся важнейшие элементы теории корабля в приложении к парусной яхте средних размерений в объеме, необходимом капитану при выходе в плавание.

1.2. Характеристики формы корпуса яхты

Основными характеристиками корпуса яхты являются его главные размерения и теоретический чертеж, дающий представление об обводах корпуса.

Главными размерениями яхты являются ее длина, ширина, высота борта и осадка (рис. 1). Знание этих величин необходимо для решения некоторых задач (плавание на мелководье, швартовка и т. д.). Различают несколько значений каждого из этих размерений.

Длина наибольшая (в проектной документации судов она обозначается L) — расстояние по горизонтали, измеренное между крайними точками по обшивке судна.

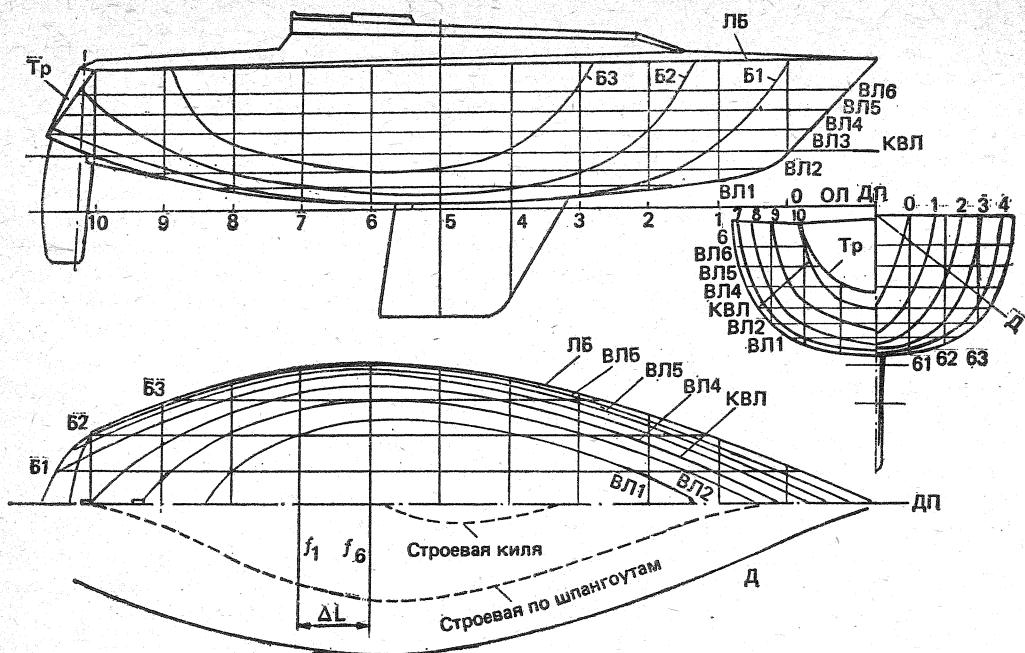


Рис. 2. Теоретический чертеж яхты «Симфония» (конструктор Филипп Брайан, Франция).
Длина наибольшая — 9,50 м; ширина наибольшая — 3,25 м; надводный борт минимальный — 1,02 м; осадка — 1,88 м; водоизмещение полное — 5,14 т. 1—10 — шпангоуты; Тр — транец; ЛБ — линия борта; Б1-Б3 — батоксы; ВЛ1-ВЛ6 — ватерлинии; Д — диагональ (рыбина).

ми, параллельными ОП, — ватерлиниями, вторая — сечением корпуса плоскостями, параллельными миделю, — шпангоутами. На «боку» и «полушироте» шпангоуты изображаются в виде прямых линий; на «корпусе» они криволинейные. Ватерлинии выглядят в виде прямых на «боку» и «корпусе», а батоксы — на полушироте и корпусе (рис. 2). Прямые линии на каждой проекции образуют сетку теоретического чертежа.

На теоретическом чертеже кроме упомянутых линий батоксов, шпангоутов и ватерлиний изображают очертания плавниковых килей, рулей, транца, фальшборта и т. п.

Так как корпус симметричен относительно ДП, то на полушироте изображают ватерлинии только левого

борта; на проекции «Бок» по правую сторону от линии ДП вычерчивают обводы носовых шпангоутов, а по левую — обводы кормовых.

Все линии теоретического чертежа должны быть согласованы. Это значит, что любая точка на поверхности корпуса должна отстоять на равных расстояниях, например от ДП на всех трех проекциях. При согласовании линий конструктор обычно проверяет положение точек пересечения кривых линий с прямыми линиями сетки.

Для дополнительного согласования обводов корпуса на теоретическом чертеже проводят рыбины или диагонали — следы сечения корпуса продольными, наклонными к ДП плоскостями, проведенными через характерные точки на проекции «корпус» —

скулу, вогнутость при киле и т. п. Диагонали проводятся только на «корпусе» — в виде прямых линий — и на полушироте вниз от ДП, где они имеют вид плавных кривых линий.

Опытному глазу каждая из линий теоретического чертежа может многое сказать о качествах судна. Например, плавные стройные ватерлинии с острым входом в носу и не слишком крутой кривизной в корме благоприятны для хорошего обтекания корпуса водой, как и диагонали аналогичного вида. Батоксы с плавным и пологим — под углом 15—20° к КВЛ выходом над ватерлинией также важны для плавного, без завихрений, обтекания корпуса. Шпангоуты с явно выраженной скулой и переходом днища в борта по малому радиусу свидетельствуют о высокой начальной остойчивости яхты. В носовой части V-образные шпангоуты с острой вершиной при киле и плавным расширением к палубе важны для сохранения скорости на взволнованном море и незаливаемости палубы.

Существенное влияние на обводы корпуса оказывают Правила обмера, по которым строится яхта. Так, в 70-х годах в результате введенного в правила обмера IOR, замера глубины трюма (расстояний от КВЛ до внутренней поверхности обшивки) на миделе в трех местах по ширине яхты появились суда с трапециевидными шпангоутами. Эти же Правила дали жизнь принципиально новым обводам корпусов — с короткими свесами оконечностей, «обратным» наклоном транца, высоким надводным бортом и плавниковым килем, которые значительно отличаются от классических яхтенных обводов, господствовавших до конца 60-х годов.

Важнейшей характеристикой яхты является ее **объемное водоизмещение** V , т. е. объем воды, вытесняемый яхтой при ее погружении по КВЛ.

Объемное водоизмещение яхты вме-

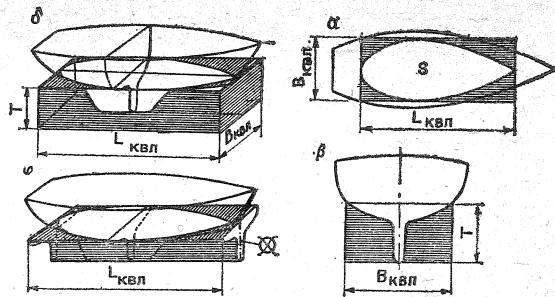


Рис. 3. Коэффициенты полноты:
водоизмещения — δ; ватерлинии — α; продольной полноты — φ; полноты мидель-шпангоута — β.

сте с ее главными размерениями позволяет судить о величине судна, его вместимости и потенциальных мореходных качествах. При сравнении яхт часто пользуются безразмерной характеристикой — коэффициентом полноты водоизмещения или коэффициентом общей полноты δ , связывающим линейные размеры корпуса с его погруженным объемом. Этот коэффициент определяется как отношение объемного водоизмещения к объему параллелепипеда, имеющего стороны, равные $L_{\text{квл}}$, $B_{\text{квл}}$ и $T_{\text{ср}}$ (рис. 3):

$$\delta = \frac{V}{L_{\text{квл}} \cdot B_{\text{квл}} \cdot T_{\text{ср}}} \quad (1)$$

Чем меньше коэффициент общей полноты, тем более острые обводы имеет яхта, тем она быстроходнее. С другой стороны, при уменьшении δ соответственно уменьшается и полезный объем корпуса ниже ватерлинии, что вызывает необходимость для размещения кают достаточной высоты увеличивать высоту борта или делать более высокие надстройки. Парусные яхты относят к наименее полным судам. Коэффициент общей полноты для крейсерско-гоночных яхт составляет $\delta = 0,15—0,22$, для крейсерских швертботов $\delta = 0,26—0,35$. Корпуса шхерных крейсеров имели $\delta = 0,12—0,15$, в то время как для большинства грузо-

вых коммерческих судов характерна величина $\delta = 0,82$.

К числу безразмерных коэффициентов, характеризующих форму корпуса яхты, относятся также коэффициенты полноты площадей ватерлинии a и мидель-шпангоута β . Первый представляет собой отношение площади ватерлинии S к прямоугольнику со сторонами $L_{\text{КВЛ}}$ и $B_{\text{КВЛ}}$:

$$\alpha = \frac{S}{L_{\text{КВЛ}} \cdot B_{\text{КВЛ}}}, \quad (2)$$

второй — отношение площади погруженной части миделя  к прямоугольнику, стороны которого равны $B_{\text{КВЛ}}$ и $T_{\text{ср}}$:

$$\beta = \frac{\text{}}{B_{\text{КВЛ}} \cdot T_{\text{ср}}}. \quad (3)$$

Коэффициент α , равный для большинства крейсерских яхт 0,70—0,72, для швертботов 0,60—0,67, показывает, насколько заострена КВЛ в оконечностях и какую роль в начальной остойчивости яхты играет форма ее корпуса. С увеличением полноты ватерлиний повышается остойчивость, но несколько ухудшается обтекаемость корпуса и его ходкость на волне, особенно при большой осадке.

Коэффициент продольной полноты (или призматический) φ , который представляет собой отношение объемного водоизмещения к объему призмы, имеющей основанием погруженную часть миделя, а высотой длину яхты по КВЛ служит для оценки сопротивления воды движению яхт:

$$\varphi = \frac{V}{\text{$$

Призматический коэффициент, характеризуя распределение погруженного объема корпуса по длине, оказывает существенное влияние на ту часть

энергии ветра, которая затрачивается на преодоление волнового сопротивления корпуса. Оптимальная величина φ зависит от того, на какую скорость рассчитывается яхта. Если речь идет об очень быстроходных судах, то φ принимается близким к 0,62. Для яхт, проектируемых на слабые ветра, φ равна 0,52—0,53.

1.3. Плавучесть, осадка, дифферент

Плавучесть — способность судна держаться на плаву, имея заданную осадку при определенной нагрузке. Это качество должно сохраняться в любых обстоятельствах эксплуатации яхты.

На погруженную в воду поверхность судна при его неподвижном состоянии в каждой точке действуют силы гидростатического давления воды, направленные перпендикулярно поверхности. Все эти силы можно привести к одной силе плавучести, направленной вверх и приложенной в центре тяжести погруженного объема — **центре величины ЦВ**. Согласно известному закону Архимеда, сила плавучести равна массе воды, вытесненной судном.

Кроме давления воды на корпус судна действуют силы тяжести, которые также могут быть приведены к одной равнодействующей силе D , направленной вниз и приложенной в **центре тяжести ЦТ** судна. Для того чтобы судно плавало в состоянии равновесия, необходимо, чтобы сила плавучести и сила тяжести были равны и располагались на одной вертикали:

$$D = \gamma \cdot V; x_d = x_c, \quad (5)$$

где γ — плотность воды, t/m^3 ;
 V — объемное водоизмещение, m^3 ;
 D — масса судна или массовое водоизмещение, t ;
 x_d — отстояние центра тяжести ЦТ от плоскости миделя, m ;
 x_c — отстояние центра величины ЦВ от плоскости миделя, m .

В зависимости от плотности воды, в которой плавает яхта, ее объемное водоизмещение может изменяться, хотя масса судна остается постоянной. В пресной воде, плотность которой близка к единице, для поддержания судна определенной массы требуется больший погруженный объем V , чем в соленой воде, плотность которой колеблется от $\gamma = 1,010 - 1,015 \text{ т/м}^3$ в Балтийском море до $1,023 - 1,028 \text{ т/м}^3$ в океане. Изменение объемного водоизмещения при переходе яхты из пресной воды ($\gamma = 1,00$) в морскую и наоборот происходит за счет изменения осадки. Величина этого изменения невелика — менее 1% осадки и на эксплуатационных качествах яхты практически не сказывается. Однако влияние солености на осадку следует учитывать при обмере яхты и вычислении ее гоночного балла.

Знание главных размерений яхты и ее коэффициентов полноты позволяет капитану выполнять некоторые элементарные расчеты приближенных значений водоизмещения, изменения осадки при приеме груза относительно небольшой величины.

Водоизмещение:

$$D = \gamma \cdot \delta \cdot L_{\text{КВЛ}} \cdot B_{\text{КВЛ}} \cdot T_{\text{ср}}, \text{ т.} \quad (6)$$

Груз, изменяющий осадку на 1 см:

$$p = 0,01 \cdot \gamma \cdot \alpha \cdot L_{\text{КВЛ}} \cdot B_{\text{КВЛ}}, \text{ т.} \quad (7)$$

Если при проектировании или постройке яхты окажется, что ее масса превышает водоизмещение по КВЛ, а ЦТ смещен в нос или корму от ЦВ, то при спуске на воду она погрузится глубже конструктивной ватерлинии и получит наклон — дифферент на нос или на корму. При продольном наклонении в воду погружается дополнительный объем корпуса в носу или корме и в ту же сторону смещается точка приложения равнодействующей сил плавучести (ЦВ) до того момента, пока вновь не будет достигнуто усло-

вие плавания в состоянии равновесия, т. е. $x_{\text{д}} = x_{\text{c}}$.

И увеличение осадки, и дифферент нежелательны, так как обводы ватерлиний яхты могут существенно отличаться от тех, что были предусмотрены ее посадкой по проектной КВЛ. Чтобы этого не случилось, после выбора главных размерений конструктор должен хотя бы приблизительно оценить массу будущей яхты. Для этого выполняется предварительный расчет массовой нагрузки по основным разделам: корпус; дельные вещи и палубное оборудование; оборудование внутренних помещений; рангоут, такелаж и паруса; двигатель с трубопроводами, гребным валом и электрооборудованием; системы с трубопроводами и цистернами; полезная нагрузка — экипаж, запасы пресной воды и провизии, топливо для двигателя, снабжение; балластный фальшиль. Примерное соотношение этих составляющих массовой нагрузки дано в табл. 1, а сумма их должна быть равна массовому водоизмещению яхты по КВЛ.

Существенное влияние на диффе-

Таблица 1

Примерное распределение массового водоизмещения между разделами нагрузки для крейсерско-гоночных яхт длиной 10—14 м

Наименование раздела массовой нагрузки	Массовое водоизмещение, %
Корпус	30—43
Фальшиль	30—45
Дельные вещи в корпусе и на палубе	2—4,5
Оборудование помещений	3—7
Рангоут, такелаж и паруса	4—7
Двигатель с трубопроводами и электрооборудованием	0—7
Системы с трубопроводами и цистернами	2—4
Полезная нагрузка: экипаж с багажом, запасы пресной воды, провизии и топлива	6—8

Массовое водоизмещение $D = 100\%$

рент яхты оказывают переменные массы — топливо и вода в цистернах, которые расходуются в течение плавания, а также экипаж, имеющий возможность перемещаться по яхте. Поэтому цистерны для жидкостей стараются располагать вблизи общего ЦТ яхты, а экипаж во время гонки рассредоточивать на палубе и в помещениях, не допуская его скопления в кормовом кокпите, где масса людей создает значительный дифферентующий момент на корму.

1.4. Непотопляемость

Способность судна оставаться на плаву и сохранять свои мореходные качества в случае получения пробоины в обшивке или затопления через палубные отверстия называется **непотопляемостью**. Это свойство в первую очередь определяется запасом плавучести судна — его надводным объемом от КВЛ до палубы. Чем выше надводный борт, тем больше запас плавучести, тем большее количество воды может влиться внутрь яхты, прежде чем она затонет.

Непотопляемость безбалластных швертботов и небольших яхт обеспечить сравнительно несложно. Благодаря легкой конструкции корпуса разность между массой яхты и силой поддержания в аварийном состоянии невелика. Требуется лишь небольшой дополнительный запас плавучести в виде междудонного пространства, бортовых отсеков плавучести, герметичных отсеков в носу и корме, под кокпитом. Для большей надежности эти отсеки заполняют легким пенопластом, не впитывающим воду. Объем отсеков плавучести или блоков пенопласта рассчитывают так, чтобы при заполнении водой яхта держалась на плаву с надводным бортом около 10 см и по возможности на ровном киле. Чтобы она сохранила свою способность сопротивляться крену и диф-

ференту, отсеки плавучести размещают в оконечностях корпуса и по бортам.

Обеспечить непотопляемость крупной яхты, снабженной фальшилем массой 40—50% ее водоизмещения и имеющей большой объем внутренних помещений, практически невозможно. В данном случае помогло бы деление корпуса поперечными водонепроницаемыми переборками на несколько отсеков. Однако глухие переборки создают большие неудобства для обитаемости яхт, а при устройстве дверей переборки теряют смысл. Поэтому даже на больших яхтах устанавливают две водонепроницаемые переборки — форпиковую (вблизи носового конца КВЛ) и ахтерпиковую (в районе кокпита), ограничивающие доступ воды внутрь при получении пробоины в оконечностях.

Опыт, однако, показывает, что в море от пробоин при столкновениях яхты гибнут сравнительно редко. Гораздо большую опасность представляет негерметичность закрытий палубных люков, разбитые иллюминаторы. Именно это стало причиной гибели пяти яхт в трагической Фастнетской гонке 1979 г. у берегов Ирландии. На этих яхтах (так же как и еще на 98 из 234 участвовавших в гонке судов) причиной попадания больших масс воды внутрь корпуса были ненадежные закрытия входных люков в стенках рубок. Традиционные задвижные щитки высекали из своих пазов при опрокидывании яхт, оказывались смытыми за борт или затерявшимися внутри яхт.

Современная практика требует, чтобы яхта, положенная парусами на воду, не могла быть залита через открытые люки. Входные люки предполагается оборудовать дверцами на прочных петлях, открываемыми обязательно наружу. Все иллюминаторы и светлые люки должны снабжаться защитными щитками, которые в штор-

мовых условиях устанавливаются снаружи. Все отверстия в корпусе для забора забортной воды или выпуска сточных вод, воды из системы охлаждения двигателя и т. п. снабжаются надежными запорными вентилями и клапанами, а осушительная система должна иметь достаточную производительность.

Современная крейсерско-гоночная яхта обладает большой живучестью, т. е. способностью оставаться при аварии на плаву и перемещаться в нужном направлении. В упомянутой Фастнетской гонке на гребнях круtyх волн опрокинулось 77 яхт, многие из которых совершили полный оборот на 360°. Несмотря на повреждения и большие массы воды, попавшие внутрь яхт, большинство из них были приведены в порты-убежища своими экипажами. Экипажи шести яхт, посчитавшие положение критическим, покинули их на надувных спасательных плотах, которые в тех условиях оказались недостаточно надежными. В результате погибло семь человек. В то же время только две из покинутых шести яхт действительно утонули. Четыре судна, несмотря на жестокий штурм, остались на плаву и были впоследствии обнаружены в море и отбуксированы в гавани.

1.5. Силы, действующие на корпус и паруса яхты

До сих пор мы рассматривали действие на яхту только двух сил — силы плавучести и силы веса, предполагая, что она находится в равновесии состояния покоя. Но поскольку для движения вперед на яхте используются паруса, на судно действует сложная система сил. Схематически она представлена на рис. 4, где рассматривается наиболее типичный случай движения яхты в бейдевинд.

При обтекании парусов воздушным потоком — ветром — на них создается результирующая аэродинамическая си-

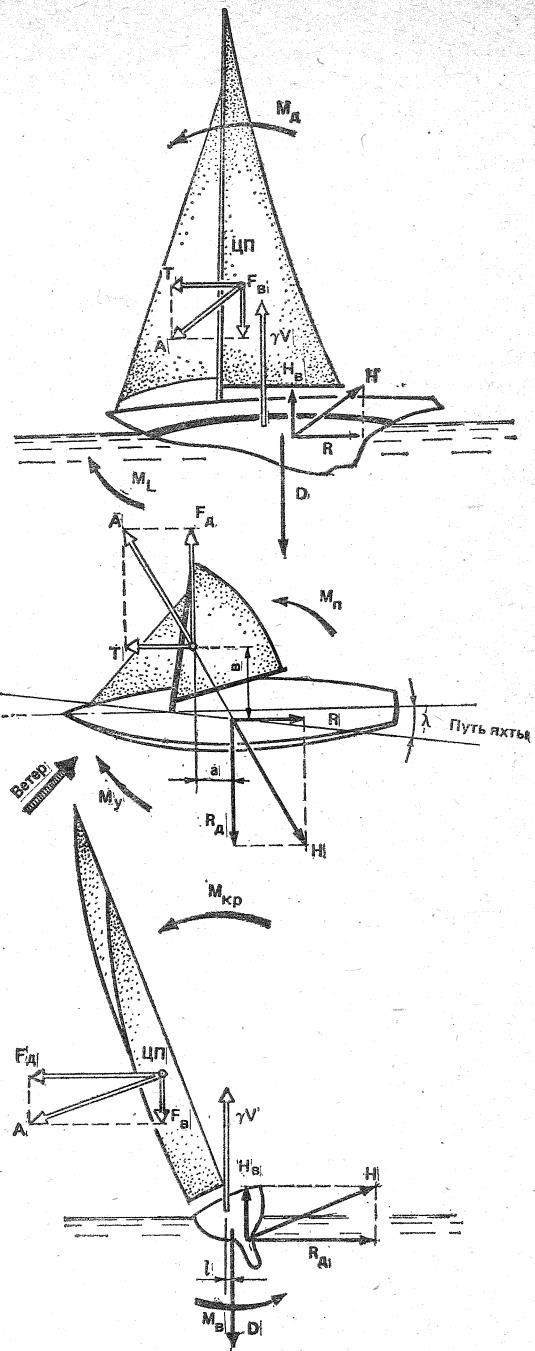


Рис. 4. Схема сил, действующих на корпус и паруса яхты

ла А (см. гл. 2), направленная примерно перпендикулярно поверхности паруса и приложенная в центре парусности (ЦП) высоко над поверхностью воды. Согласно третьему закону механики, при установившемся движении тела по прямой каждой силе, приложенной к телу, в данном случае — к парусам, связанным с корпусом яхты через мачту, стоячий такелаж и шкоты, должна противодействовать равная ей по величине и противоположного направления сила. На яхте — это результирующая гидродинамическая сила H , приложенная к подводной части корпуса. Таким образом, между этими силами существует известное расстояние — плечо, вследствие чего образуется момент пары сил.

И аэро- и гидродинамические силы оказываются ориентированными не в плоскости, а в пространстве, поэтому при изучении механики движения яхты рассматривают проекции этих сил на главные координатные плоскости. Имея в виду упомянутый третий закон Ньютона, выпишем попарно все составляющие аэродинамической силы и соответствующие им гидродинамические реакции:

A — проекция аэродинамической результирующей силы;	H — проекция гидродинамической результирующей силы;
T — сила тяги, движущая яхту вперед;	R — сила сопротивления воды движению яхты;
F_d — кренящая сила или сила дрейфа;	R_d — боковая сила или сила сопротивления дрейфу;
F_b — вертикальная (аэродинамическая) сила;	H_b — вертикальная гидродинамическая сила;
D — сила веса яхты;	γV — сила плавучести;
M_d — дифферентующий момент;	M_z — момент сопротивления дифференту;
M_{kp} — кренящий момент;	M_b — восстанавливающий момент;
M_p — приводящий к ветру момент;	M_y — уваливающий момент.

Для того чтобы яхта устойчиво шла по курсу, каждая пара сил и каждая пара моментов сил должны быть равны друг другу. Например, сила дрейфа F_d и сила сопротивления дрейфу R_d создают кренящий момент M_{kp} , который должен быть уравновешен восстанавливающим моментом M_b или моментом поперечной остойчивости. M_b образуется благодаря действию сил веса D и плавучести яхты γV , действующих на плече l . Эти же силы веса и плавучести образуют момент сопротивления дифференту или момент продольной остойчивости M_z , равный по величине и противодействующий дифферентующему моменту M_d . Слагаемыми последнего являются моменты пар сил $T - R$ и $F_b - H_b$.

В приведенную схему действия сил существенные поправки вносят, особенно на легких яхтах, экипаж. Пересядясь на наветренный борт или по длине яхты, экипаж своим весом эффективно откренивает судно или противодействует его дифференту на нос. В создании уваливающего момента M_d решающая роль принадлежит соответствующему отклонению руля.

Аэродинамическая боковая сила F_d кроме крена вызывает боковой снос — дрейф, поэтому яхта движется не строго по ДП, а с небольшим углом дрейфа λ . Именно это обстоятельство обусловливает образование на киеле яхты силы сопротивления дрейфу R_d , которая по своей природе аналогична подъемной силе, возникающей на крыле самолета, располагаемом под углом атаки к набегающему потоку. Аналогично крылу работает на курсе байдевинд и парус, для которого угол атаки является угол между хордой паруса и направлением вымпельного ветра. Таким образом, в современной теории корабля парусная яхта рассматривается как симбиоз двух крыльев: корпуса, движущегося в воде, и паруса, на который воздействует вымпельный ветер.

1.6. Остойчивость

Как мы уже говорили, яхта подвержена действию сил и моментов сил, стремящихся наклонить ее в поперечном и продольном направлениях. Способность судна противостоять действию этих сил и возвращаться в прямое положение после прекращения их действия называется **остойчивостью**. Наиболее важной для яхты является **поперечная остойчивость**.

Когда яхта плавает без крена, то силы тяжести и плавучести, приложенные соответственно в ЦТ и ЦВ, действуют по одной вертикали. Если при крене экипаж либо другие составляющие массовой нагрузки не перемещаются, то при любом отклонении ЦТ сохраняет свое первоначальное положение в ДП (точка G на рис. 5), вращаясь вместе с судном. В то же время вследствие изменившейся формы подводной части корпуса ЦВ смещается из точки C_0 в сторону накрененного борта до положения C_1 . Благодаря этому возникает момент пары сил D и γV с плечом l , равным горизонтальному расстоянию между ЦТ и новым ЦВ яхты. Этот момент стремится **возвратить яхту в прямое положение** и потому называется **восстанавливющим**.

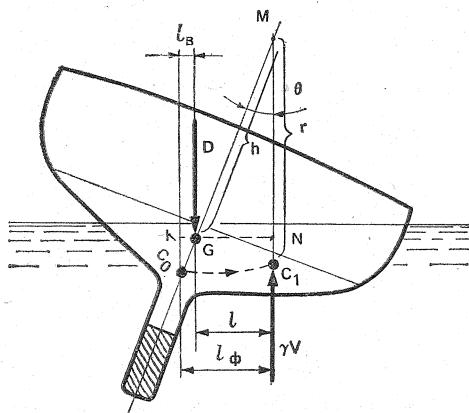


Рис. 5. Остойчивость кильевой яхты. Плечо остойчивости $l = l_{\Phi} - l_{\text{в}}$

При крене ЦВ перемещается по кривой траектории $C_0 C_1$, радиус кривизны r которой называется **поперечным метацентрическим радиусом**, а соответствующий ему центр кривизны M — **поперечным метацентром**. Величина радиуса r и соответственно форма кривой $C_0 C_1$ зависят от обводов корпуса. В общем случае при увеличении крена метацентрический радиус уменьшается, так как его величина пропорциональна четвертой степени ширины ватерлинии.

Очевидно, что плечо восстанавливющего момента зависит от расстояния GM — возвышения метацентра над центром тяжести: чем оно меньше, тем соответственно меньше при крене и плечо l . На самой начальной стадии наклона величины GM или h рассматривается судостроителями как мера остойчивости судна и называется **начальной поперечной метацентрической высотой**. Чем больше h , тем необходима большая кренящая сила, чтобы наклонить яхту на какой-либо определенный угол крена, тем остойчивее судно. На крейсерско-гоночных яхтах метацентрическая высота составляет обычно 0,75—1,2 м; на крейсерских швертботах — 0,6—0,8 м.

По треугольнику GMN легко установить, что восстанавливющее плечо $l = GN = h \cdot \sin \Theta$. Восстанавливающий момент, учитывая равенство γV и D , равен:

$$M_B = D \cdot h \cdot \sin \Theta, \text{ тм.} \quad (8)$$

Таким образом, несмотря на то что метацентрическая высота изменяется в довольно узких пределах для яхт различных размерений, величина восстанавливающего момента прямо пропорциональна водоизмещению яхты, следовательно, более тяжелое судно оказывается в состоянии выдержать кренивший момент большей величины.

Восстанавливающее плечо можно представить как разность двух расстояний (см. рис. 5): l_{Φ} — плеча остой-

чивости формы и l_b — плеча остойчивости веса. Нетрудно установить физический смысл этих величин, так как l_b определяется отклонением при крене линии действия силы веса от первоначального положения точно над C_0 , а l_ϕ — смещением на подветренный борт центра величины погруженного объема корпуса. Рассматривая действие сил D и γV относительно C_0 , можно заметить, что сила веса D стремится накренить яхту еще больше, а сила γV , наоборот, — выпрямить судно.

По треугольнику C_0GK можно найти, что $l_b = GK = C_0G \cdot \sin\Theta$, где C_0G — возвышение ЦТ над ЦВ в прямом положении яхты. Таким образом, для того чтобы уменьшить отрицательное действие сил веса, необходимо по возможности понизить ЦТ яхты. В идеальном случае ЦТ должен бы расположиться ниже ЦВ, тогда плечо остойчивости веса становится положительным и масса яхты помогает ей сопротивляться действию кренящего момента. Однако только немногие яхты имеют такую характеристику: углубление ЦТ ниже ЦВ связано с применением очень тяжелого балласта, превышающего 60% водоизмещения яхты, чрезмерным облегчением конструкции корпуса, рангоута и такелажа. Эффект, аналогичный снижению ЦТ, дает перемещение экипажа на подветренный борт. Если речь идет о легком швертботе, то экипажу удается сместить общий ЦТ настолько, что линия действия силы D пересекается с ДП значительно ниже ЦВ и плечо остойчивости веса получается положительным.

У килевой яхты благодаря тяжелому балластному фальшкилю центр тяжести находится достаточно низко (чаще всего — под ватерлинией или слегка выше нее). Остойчивость яхты всегда положительная и достигает максимума при крене около 90° , когда яхта лежит парусами на воде. Разумеется, такой крен может быть достигнут только на яхте с надежно закрытыми

отверстиями в палубе и с самоотливным кокпитом. Яхта с открытым кокпитом может быть залита водой при гораздо меньшем угле крена (яхта класса «Дракон», например, при 52°) и пойти ко дну не успев выпрямиться.

У мореходных яхт положение неустойчивого равновесия наступает при крене около 130° , когда мачта уже находится под водой, будучи направленной вниз под углом 40° к поверхности. При дальнейшем увеличении крена плечо остойчивости становится отрицательным, опрокидывающий момент способствует достижению второго положения неустойчивого равновесия при крене 180° (вверх килем), когда ЦТ оказывается расположенным высоко над ЦВ достаточно небольшой волны, чтобы судно приняло вновь

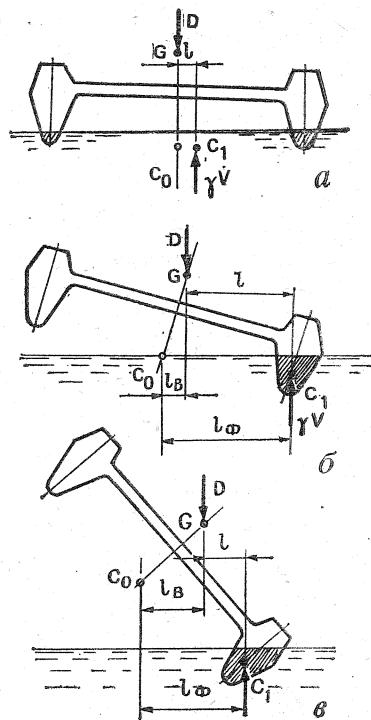


Рис. 6. Остойчивость катамарана:
а — на малых углах крена; б — в момент выхода на-
ветренного корпуса из воды; в — на больших углах
крена

нормальное положение — вниз килем. Известно немало случаев, когда яхты совершили полный оборот на 360° и сохраняли свои мореходные качества.

Сравнивая остойчивость килевой яхты и швертбота, можно заметить, что главную роль в создании восстанавливающего момента у швертбота играет остойчивость формы, а у килевой яхты — остойчивость веса. Поэтому и существует столь заметная разница в обводах их корпусов: швертботы имеют широкие корпуса с $L/B = 2,6—3,2$, со скосом малого радиуса и большой полнотой ватерлинии. В еще большей степени форма корпуса определяет остойчивость катамаранов, у которых объемное водоизмещение разделено поровну между двумя корпусами. Уже при небольшом крене водоизмещение между корпусами резко перераспределяется, увеличивая силу плавучести корпуса, погружающегося в воду (рис. 6). Когда другой корпус выходит из воды (при крене $8—15^\circ$), плечо остойчивости достигает максимальной

величины — оно немного меньше половины расстояния между ДП корпусов. При дальнейшем увеличении крена катамаран ведет себя подобно швертботу, экипаж которого висит на трапеции. При крене $50—60^\circ$ наступает момент неустойчивого равновесия, после чего остойчивость катамарана становится отрицательной.

Диаграмма статической остойчивости. Очевидно, что полной характеристикой остойчивости яхты может быть кривая изменения восстанавливающего момента M_B в зависимости от угла крена Θ или диаграмма статической остойчивости (рис. 7). На диаграмме хорошо различимы моменты максимума остойчивости ($Ж$) и предельного угла крена, при котором судно, будучи предоставлено само себе, опрокидывается ($З$ — угол заката диаграммы статической остойчивости).

С помощью диаграммы капитан судна имеет возможность оценивать, например, способность яхты нести ту или иную парусность при ветре определен-

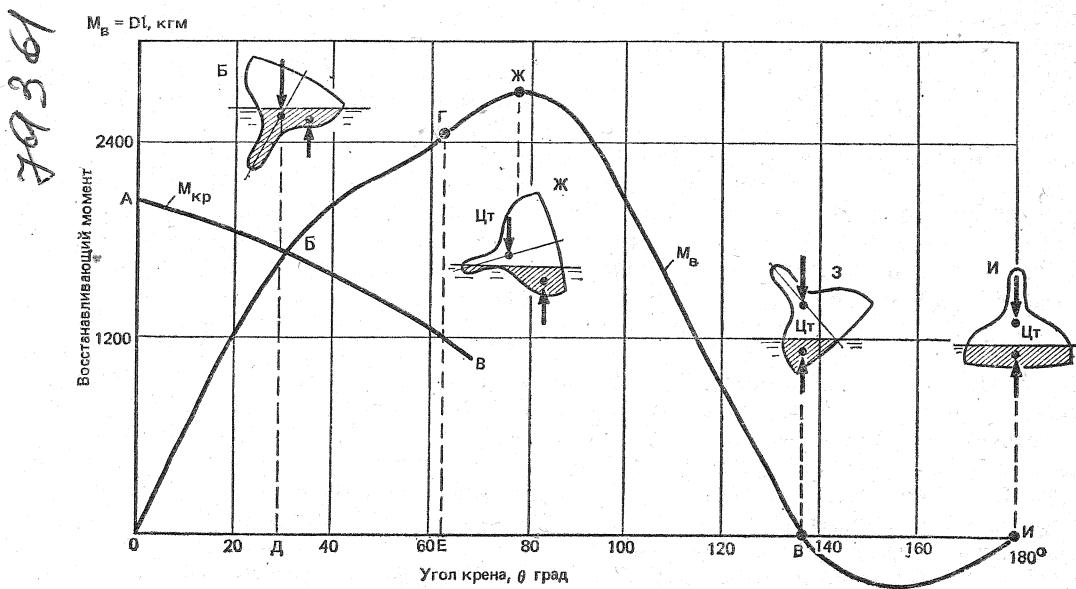
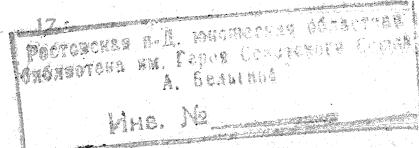


Рис. 7. Диаграмма статической остойчивости крейсерско-гоночной яхты



ной силы. Для этого на диаграмму остойчивости наносят кривые изменения кренящего момента M_{kr} в зависимости от угла крена Θ . Точка Б пересечения обеих кривых указывает на угол крена, который получит яхта при статическом, с плавным нарастанием действии ветра. На рис. 7 яхта получит крен, соответствующий точке Д, — около 29° . Для судов, имеющих явно выраженные нисходящие ветви диаграммы остойчивости (швертботов, компромиссов и катамаранов), плавание может быть допущено только при углах крена, не превышающих точки максимума на диаграмме остойчивости.

На практике экипажам яхт приходится нередко иметь дело с динамическим действием внешних сил, при котором кренящий момент достигает значительной величины в сравнительно короткий промежуток времени. Такое бывает при шквале или ударе волны в наветренную скулу. В этих случаях важна не только величина кренящего момента, но и кинетическая энергия, сообщаемая судну и поглощаемая работой восстанавливющего момента.

На диаграмме статической остойчивости работа обоих моментов может быть представлена в виде площадей, заключенных между соответствующими кривыми и осями ординат. Условием равновесия яхты при динамическом воздействии внешних сил будет равенство площадей ОАБВЕ (работа M_{kr}) и ОБГВЕ (работа M_v). Учитывая, что площади ОБВЕ общие, можно рассматривать равенство площадей ОАБ и БГВ. На рис. 7 видно, что в случае динамического действия ветра угол крена (точка Е, около 62°) заметно превышает крен от ветра такой же силы при его статическом действии.

По диаграмме статической остойчивости может быть определен предельный динамический кренящий момент, опрокидывающий швертбот или угро-

жающий безопасность яхты с открытым кокпитом. Очевидно, что действие восстанавливающего момента может рассматриваться только до угла залиивания кокпита или до начальной точки снижения диаграммы статической остойчивости.

Принято считать, что килевые яхты, снабженные тяжелым балластом, практически неопрокидываемы. Однако в уже упоминавшейся Фастнетской гонке 1979 г. 77 яхт были опрокинуты на угол крена более 90° , причем часть из них некоторое время (от 30 сек до 5 мин) оставалась на плаву вверх килем, а несколько яхт встали потом в нормальное положение через другой борт. Наиболее серьезными повреждениями при этом были потери мачт (на 12 яхтах), падение из своих гнезд аккумуляторов, тяжелых камбузных плит и другого оборудования. К нежелательным последствиям привело и попадание воды внутрь корпусов. Случилось это под динамическим воздействием крутой 9—10-метровой волны, профиль которой резко ломался при переходе из океана в мелководное Ирландское море, при ветре скоростью 25—30 м/с.

Факторы, влияющие на поперечную остойчивость. Таким образом, мы можем сделать определенные выводы о влиянии различных элементов проекта яхты на ее остойчивость. На малых углах крена главную роль в создании восстанавливающего момента играют ширина яхты и коэффициент полноты площади ватерлиний. Чем шире яхта и полнее ее ватерлиния, тем дальше от ДП смещается ЦВ при крене судна, тем больше плечо остойчивости формы. Диаграмма статической остойчивости достаточно широкой яхты имеет более крутую восходящую ветвь, чем узкой, — до $\Theta = 60\text{--}80^\circ$.

Чем ниже расположен центр тяжести яхты, тем она остойчивее, причем влияние глубокой осадки и большого балласта сказывается практически по

всей диаграмме остойчивости яхты. Занимаясь модернизацией яхты, полезно помнить простое правило: каждый килограмм под ватерлинией повышает остойчивость, а каждый килограмм над ватерлинией ухудшает ее. Особенно ощутим для остойчивости тяжелый рангоут и такелаж.

При одинаковом расположении центра тяжести яхта с избыточным надводным бортом имеет и более высокую остойчивость на углах крена более $30-35^\circ$, когда на судне с нормальной высотой борта палуба начинает входить в воду. Высокобортная яхта имеет большую величину максимального восстанавливющего момента. Это качество присуще также яхтам, имеющим водонепроницаемые рубки достаточно большого объема.

Особо следует остановиться на влиянии воды в трюме и жидкостей в цистернах. Дело не только в перемещении масс жидкостей в сторону накрененного борта; главную роль играет наличие свободной поверхности переливающейся жидкости, а именно — ее момент инерции относительно продольной оси. Если, например, поверхность воды в трюме имеет длину l , а ширину b , то метацентрическая высота уменьшается на величину

$$\Delta h = \frac{l \cdot b^3}{12D}, \text{ м.} \quad (9)$$

Особенно опасна вода в трюме, свободная поверхность которого имеет большую ширину. Поэтому при плавании в штормовых условиях воду из трюма нужно своевременно удалять.

Для уменьшения влияния свободной поверхности жидкостей в цистернах устанавливают продольные отбойные переборки, которые по ширине делят на несколько частей. В переборках делают отверстия для свободного перетекания жидкости.

Поперечная остойчивость и ходкость яхты. При увеличении крена сверх $10-12^\circ$ сопротивление воды дви-

жению яхты заметно возрастает, что приводит к потере скорости. Поэтому важно, чтобы при усилении ветра яхта дольше могла нести эффективную парусность, не имея чрезмерного крена. Нередко даже на сравнительно крупных яхтах во время гонок экипаж располагается на наветренном борту, пытаясь уменьшить крен.

Насколько эффективно перемещение груза (экипажа) на один борт, нетрудно представить по простейшей формуле, которая справедлива для небольших углов (в пределах $0-10^\circ$) крена:

$$M_0 = \frac{D \cdot h}{57,3} \text{ ТМ,} \quad (10)$$

где M_0 — момент, крениющий яхту на 1° ;

D — водоизмещение яхты, т;

h — начальная поперечная метацентрическая высота, м.

Зная массу перемещаемого груза и расстояние нового места расположения его от ДП, можно определить крениющий момент, а разделив его на M_0 , получить угол крена в градусах. Например, если на яхте водоизмещением 7 т при $h=1$ м пять человек расположатся у борта на расстоянии 1,5 м от ДП, то создаваемый ими крениющий момент придаст яхте крен в $4,5^\circ$ (или уменьшит примерно на столько же крен на другой борт).

Продольная остойчивость. Физика явлений, происходящих при продольных наклонах яхты аналогична явлениям при крене, но продольная метацентрическая высота по величине сравнима с длиной яхты. Поэтому продольные наклоны, дифферент, обычно невелики и измеряются не в градусах, а по изменениям осадки носом и кормой. И тем не менее, если из яхты выжимают все ее возможности, нельзя не считаться с действием сил, дифферентующих яхту на нос и перемещающих центр величины вперед (см. рис. 4). Этому можно проти-

рая реагирует нужным образом на перевалку руля.

Управляемость объединяет два свойства судна — устойчивость на курсе и поворотливость.

Устойчивость на курсе — это способность яхты удерживать заданное прямолинейное направление движения при действии на нее различных внешних сил: ветра, волнения и т. п. Устойчивость на курсе зависит не только от конструктивных особенностей яхты и характера действия внешних сил, но и от реакции рулевого на отклонение судна от курса, его чутья руля.

Обратимся вновь к схеме действия внешних сил на паруса и корпус яхты (см. рис. 4). Решающее значение для устойчивости яхты на курсе имеет взаимное расположение двух пар сил. Кренящая сила F_d и сила сопротивления дрейфу R_d стремятся увалить нос яхты под ветер, в то время как вторая пара — сила тяги T и сопротивление движению R приводят яхту к ветру. Очевидно, что реакция яхты зависит от соотношения величины рассматриваемых сил и плеч a и b , на которых они действуют. При увеличении угла крена плечо приводящей пары b также увеличивается. Плечо уваливающей пары a зависит от взаимного расположения центра парусности (ЦП) — точки приложения результирующей аэродинамических сил к парусам и центра бокового сопротивления (ЦБС) — точки приложения результирующей гидродинамических сил к корпусу яхты. Положение этих точек изменяется в зависимости от многих факторов: курса яхты относительно ветра, формы и настройки парусов, крена и дифферента яхты, формы и профиля киля и руля и т. п.

Поэтому при проектировании и перевооружении яхт оперируют с условными ЦП и ЦБС, считая их расположенными в центрах тяжести плоских фигур, которыми являются паруса, поставленные в диаметральной плоско-

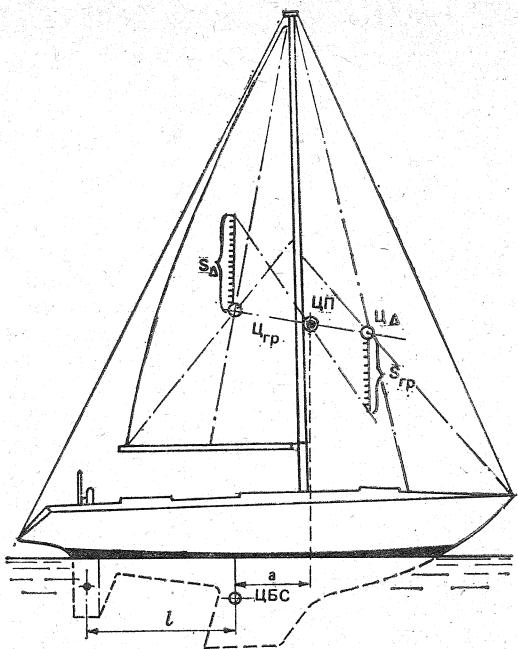


Рис. 12. Схема определения геометрического центра парусности яхты с вооружением типа «шлюп»:

Ц_{ГР} и ЦД — центр площади грота и обмерного переднего парусного треугольника; S_{ГР} и SD — площади грота и переднего парусного треугольника, отложенные в виде отрезков в определенном масштабе, на параллельных прямых, проведенных из Ц_{ГР} и ЦД; ЦП — общий центр парусности; ЦБС — центр бокового сопротивления; a — опережение ЦП перед ЦБС

сти яхты, и подводные очертания ДП с килем, плавниками и рулем (рис. 12).

Известно, что центр тяжести треугольного паруса располагается на пересечении двух медиан, а общий центр тяжести двух парусов находится на отрезке прямой, соединяющей ЦП обоих парусов, и делит этот отрезок обратно пропорционально их площади. Обычно в расчет принимается не фактическая площадь стакселя, а обмерная площадь переднего парусного треугольника.

Положение ЦБС можно определить, уравновешивая на острие иголки профиль подводной части ДП, вырезанный из тонкого картона. Когда шаб-

лон располагается строго горизонтально, игла находится в условной точке ЦБС. Напомним, что в создании силы сопротивления дрейфу главная роль принадлежит плавниковому килю и рулю. Центры гидродинамических давлений на их профилях могут быть найдены достаточно точно, например для профилей с относительной толщиной t/b около 8% эта точка находится на расстоянии около 26% хорды от входящей кромки. Однако корпус яхты, хотя и участвует в создании поперечной силы в малой степени, вносит определенные изменения в характер обтекания киля и руля, причем он изменяется в зависимости от угла крена и дифферента, а также скорости яхты. В большинстве случаев на курсе бейдевинд истинный ЦБС перемещается вперед.

Конструкторы, как правило, располагают ЦП на некотором расстоянии (опережении) впереди ЦБС. Обычно опережение задается в процентах длины судна по ватерлинии и составляет для бермудского шлюпа 15—18% $L_{\text{кв}}$.

Если истинный ЦП оказывается расположенным слишком далеко впереди ЦБС, яхта на курсе бейдевинд уваливается под ветер и рулевому приходится постоянно держать руль отклоненным на ветер. Если же ЦП оказывается позади ЦБС, то яхта стремится привестись к ветру; требуется постоянная работа рулем, чтобы сдерживать судно.

Особенно неприятна тенденция яхты к уваливанию. В случае аварии с рулем яхту не удается с помощью одних парусов привести на курс бейдевинд, кроме того, она обладает повышенным дрейфом. Дело в том, что киль яхты отклоняет стекающий с него поток воды ближе к ДП судна. Поэтому если руль стоит прямо, он работает с заметно меньшим углом атаки, чем киль. Если отклонить руль в наветренную сторону, то образуемая на нем подъ-

емная сила оказывается направленной в подветренную сторону — туда же, что и сила дрейфа на парусах. В данном случае киль и руль «тянут» в разные стороны и яхта неустойчива на курсе.

Иное дело легкая тенденция яхты приводиться. Переложенный на небольшой угол (3—4°) под ветер руль работает с таким же или несколько большим углом атаки, что и киль, и эффективно участвует в сопротивлении дрейфу. Поперечная сила, возникающая на руле, вызывает значительное смещение общего ЦБС к корме, одновременно уменьшается угол дрейфа, яхта устойчиво лежит на курсе.

Однако если на курсе бейдевинд руль приходится постоянно перекладывать под ветер на большую величину, чем 3—4°, следует подумать о корректировке относительного положения ЦБС и ЦП. На уже построенной яхте это проще делать, перемещая вперед ЦП, — устанавливая мачту в степе в крайнее носовое положение или наклоняя ее вперед.

Причиной приведения яхты может быть также грот — слишком «пузатый» или с перебранной задней шкаториной. В этом случае полезен промежуточный штаг, с помощью которого можно придать мачте в средней части (по высоте) прогиб вперед и тем самым сделать парус более плоским, а также ослабить заднюю шкаторину. Можно также укоротить длину нижней шкаторины грота.

Сложнее сместить в корму ЦБС, для чего нужно установить кормовой плавничок перед рулем или увеличить площадь пера руля.

Мы уже говорили, что при увеличении крена увеличивается и тенденция яхты приводиться. Это происходит не только вследствие увеличения плеча приводящей пары сил — T и R . При крене гидродинамическое давление в районе носовой волны повышается, что приводит к смещению ЦБС

вперед. Поэтому в свежий ветер для уменьшения тенденции яхты приводиться следует переместить вперед и ЦП: взять риф на гроте или немного перетравить его для данного курса. Полезно также сменить стаксель на меньший по площади, благодаря чему уменьшается крен и дифферент яхты на нос.

Опытный конструктор при выборе величины опережения α обычно учитывает остойчивость яхты, чтобы компенсировать рост приводящего момента при крене: для яхты с меньшей остойчивостью задается большая величина опережения, для более остойчивых судов опережение принимается минимальным.

Хорошо уцентрованные яхты часто обладают повышенной рыскливостью на курсе бакштаг, когда потравленный на борт грот стремится развернуть яхту носом к ветру. Этому помогает и высокая волна, набегающая с кормы под углом к ДП. Чтобы одерживать яхту на курсе, приходится сильно работать рулем, отклоняя его на критический угол, когда возможен срыв потока с его подветренной поверхности (обычно это случается при углах атаки $\alpha = 15-20^\circ$). Это явление сопровождается потерей подъемной силы на руле и, следовательно, управляемости яхты. Яхта внезапно может резко броситься к ветру и получить большой крен, при этом из-за уменьшения углубления пера руля на сторону разрежения может прорваться воздух с поверхности воды.

Борьба с этим явлением, получившим название брочинг, заставляет увеличивать площадь пера руля и его удлинение, устанавливать перед рулем плавник, площадь которого составляет около четверти площади пера. Благодаря наличию плавника перед рулем организуется направленный поток воды, увеличиваются критические углы атаки руля, предотвращается прорыв воздуха к нему и уменьшается усилие

на румпеле. При плавании в бакштаг экипаж должен стремиться к тому, чтобы тяга спинакера была направлена по возможности вперед, а не вбок, чтобы избежать излишнего крена. Важно также препятствовать появлению дифферента на нос, при котором может уменьшиться углубление руля. Брочингу способствует также бортовая качка яхты, появляющаяся вследствие срывов потока воздуха со спинакером.

Устойчивость на курсе помимо рассмотренного влияния внешних сил и взаимного расположения их точек приложения определяется конфигурацией подводной части ДП. Ранее для дальних плаваний по открытой воде отдавали предпочтение яхтам с длинной кильевой линией, как обладающим большим сопротивлением повороту и соответственно — устойчивостью на курсе. Однако этому типу судов свойственные существенные недостатки, например большая смоченная поверхность и плохая поворотливость. К тому же выяснилось, что устойчивость на курсе зависит не только от величины боковой проекции ДП, сколько от положения руля относительно ЦБС, т. е. от «рычага», на котором действует руль. Отмечено, что если расстояние оказывается менее $25\% L_{\text{КВЛ}}$, то яхта становится рыскливой и плохо реагирует на отклонение руля. При $l=40-45\% L_{\text{КВЛ}}$ (см. рис. 12) удержание судна на заданном курсе не составляет труда.

Поворотливость — способность судна изменять направление движения и описывать траекторию под действием руля и парусов. Действие руля основано на том же принципе гидродинамического крыла, что рассматривался и для яхтенного киля. При перекладке руля на некоторый угол возникает гидродинамическая сила R , одна из составляющих которой N толкает корму яхты в сторону, противоположную той, в которую положен руль

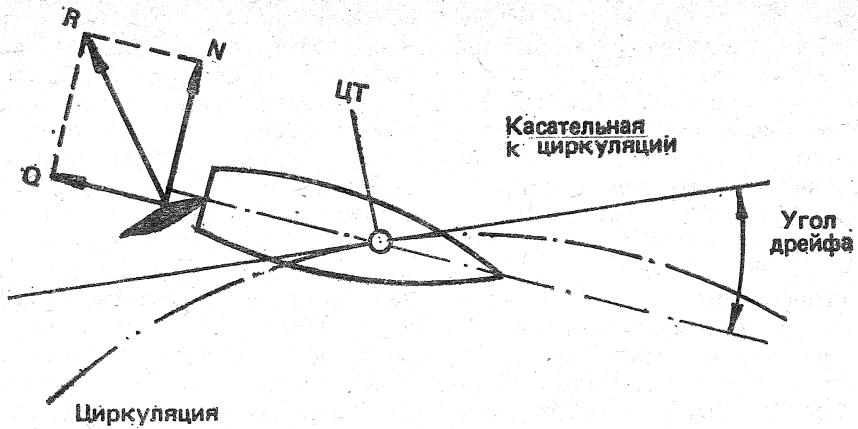


Рис. 13. Действие руля и схема движения яхты на циркуляции

(рис. 13). Под ее действием судно начинает двигаться по кривой траектории. Одновременно сила R дает составляющую Q — силу сопротивления, тормозящую ход яхты.

Если закрепить руль в одном положении, то судно пойдет примерно по окружности, называемой циркуляцией. Диаметр или радиус циркуляции является мерой поворотливости судна: чем больше радиус циркуляции, тем хуже поворотливость. По циркуляции движется только центр тяжести яхты, корму выносит наружу. Одновременно судно получает дрейф, вызванный центробежной силой и отчасти силой N на пере руля.

Радиус циркуляции зависит от скорости и массы яхты, ее момента инерции относительно вертикальной оси, проходящей через ЦТ, от эффективности руля — величины силы N и ее плеча относительно ЦТ при данном отклонении руля. Чем больше скорость и водоизмещение яхты, чем больше тяжелых масс (двигатель, якоря, детали оборудования) размещено в оконечностях судна, тем больше радиус циркуляции. Обычно радиус циркуляции, определенный на ходовых испытаниях яхты, выражают в длинах корпуса.

Поворотливость тем лучше, чем короче подводная часть судна и чем ближе к мидню сконцентрирована ее основная площадь. Плохой поворотливостью обладают, например, суда с длинной килевой линией (типа военно-морских шлюпок) и, наоборот, хороший — швертботы с узкими глубокими швертами.

Эффективность руля зависит от площади и формы пера, профиля поперечного сечения, аэродинамического удлинения, типа установки (на ахтерштевне, отдельно от киля или на плавнике), а также расстояния баллера от ЦБС. Наибольшее распространение получили рули, спроектированные в виде крыла с аэродинамическим профилем поперечного сечения. Максимальной толщина профиля принимается обычно в пределах 10—12% хорды и располагается на $\frac{1}{3}$ хорды от передней кромки. Площадь руля составляет обычно 9,5—11% площади погруженной части ДП яхты.

Руль с большим удлинением (отношение квадрата глубины погружения руля к его площади) развивает большую поперечную силу на малых углах атаки, благодаря чему он эффективно участвует в обеспечении боковой силы сопротивления дрейфу. Однако, как

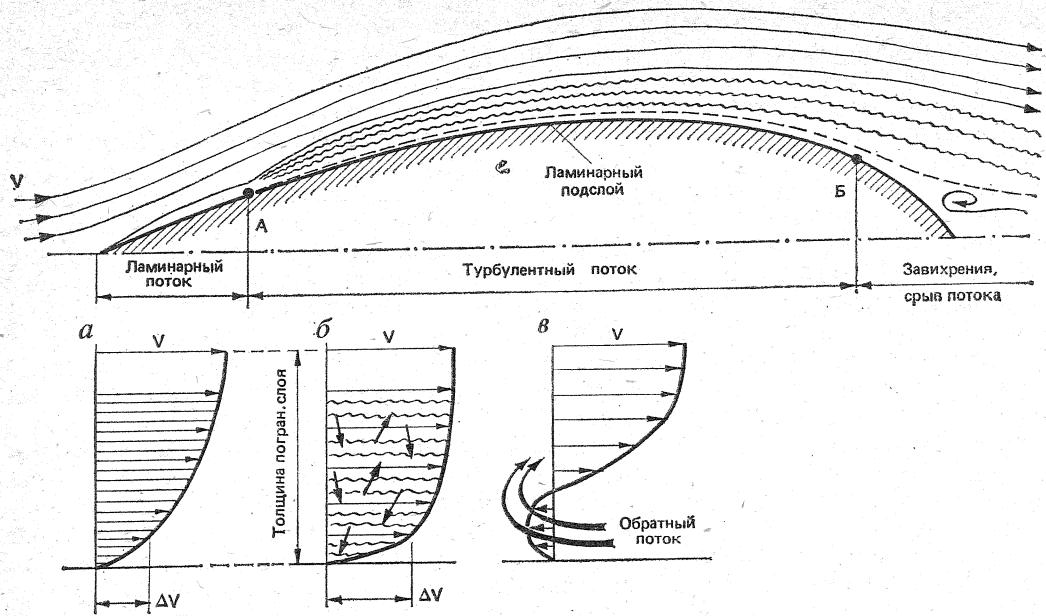


Рис. 14. Схема обтекания корпуса яхты:

A — точка перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный; *B* — точка отрыва потока от корпуса; *a* — изменение скоростей потока в ламинарном пограничном слое; *б* — изменение скоростей потока в турбулентном слое; *в* — изменение скоростей в пограничном слое в корму от точки *B*

ший перепад скорости между слоями частиц оказывается непосредственно у поверхности корпуса; соответственно и силы трения имеют здесь наибольшую величину.

Число Рейнольдса в пограничном слое увеличивается по мере удаления частиц воды от форштевня (с возрастанием смоченной длины). При скорости 2 м/с, например, уже на расстоянии около 2 м от него Re достигнет критической величины, при которой режим потока в пограничном слое становится вихревым, т. е. турбулентным и направленным поперек пограничного слоя. Вследствие возникшего обмена кинетической энергией между слоями скорость частиц близ поверхности корпуса растет в большей степени, чем при ламинарном потоке. Перепад скоростей Δv здесь возрастает, соответственно растет и сопротивление трения. Вследствие поперечных

движений частиц воды толщина пограничного слоя увеличивается, а сопротивление трения резко увеличивается.

Ламинарный режим обтекания охватывает только небольшую часть корпуса яхты в носовой его части и только на малых скоростях. Критическая величина Re , при которой возникает турбулентное обтекание корпуса, лежит в пределах $5 \cdot 10^5 - 6 \cdot 10^6$ и в значительной степени зависит от формы и гладкости поверхности его. При повышении скорости точка перехода ламинарного пограничного слоя в турбулентный перемещается в сторону носа и при достаточно высокой скорости может наступить момент, когда вся смоченная поверхность корпуса будет охвачена турбулентным потоком. Правда, непосредственно около обшивки, где скорость обтекания близка к нулю, все же сохраняется тончайшая

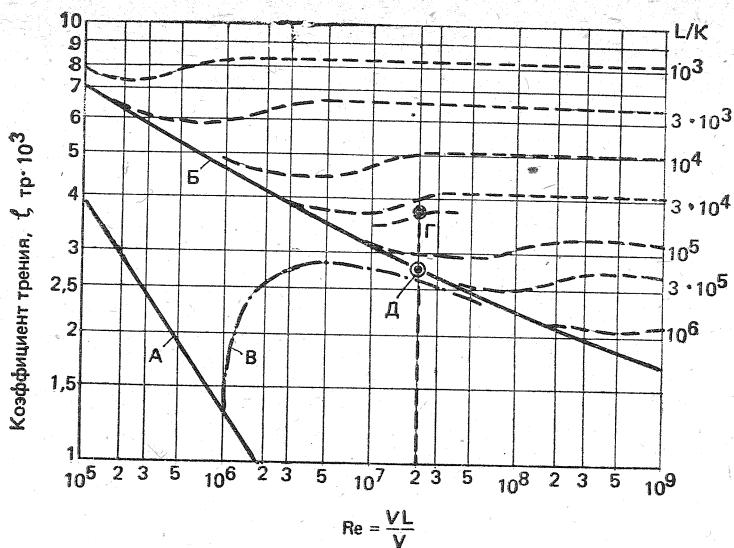


Рис. 15. Коэффициент сопротивления трения технически гладкой и шероховатых поверхностей в зависимости от числа Рейнольдса Re

пленка с ламинарным режимом — ламинарный подслой.

Сопротивление трения рассчитывают по формуле:

$$R_{tr} = \zeta_{tr} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \Omega, \text{ кгс}, \quad (13)$$

где R_{tr} — сопротивление трения, кг;

ζ_{tr} — коэффициент сопротивления трения;

ρ — массовая плотность воды; для пресной воды:

$$\rho = 102 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$$

v — скорость яхты, м/с;

Ω — смоченная поверхность, м^2 .

Коэффициент сопротивления трения — величина переменная, зависящая от характера потока в пограничном слое, длины корпуса L_{KVL} , скорости v и шероховатости поверхности корпуса.

На рис. 15 показана зависимость коэффициента сопротивления трения ζ_{tr} от числа Re и шероховатости поверхности корпуса.

Рост сопротивления шероховатой по-

верхности по сравнению с гладкой не-трудно объяснить наличием в турбулентном пограничном слое ламинарного подслоя. Если бугорки на поверхности полностью погружены в ламинарный подслой, то они не вносят существенных изменений в характер ламинарного течения подслоя. Если же неровности превышают толщину подслоя и выступают над ним, то происходит турбулизация движения частиц воды по всей толщине пограничного слоя, и коэффициент трения соответственно возрастает.

Рис. 15 позволяет оценить важность отделки днища яхты для снижения ее сопротивления трения. Например, если яхта длиной 7,5 м по ватерлинии идет со скоростью $v = 6$ узл. (3,1 м/с), то соответствующее число

$$Re = \frac{3,1 \cdot 7,5}{1,15 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^7.$$

Допустим, что днище яхты имеет шероховатость (среднюю высоту неровностей) $k = 0,2$ мм, что соответствует относительной шероховатости

$L/k = \frac{7500}{0,2} = 3,75 \cdot 10^4$. Для данной шероховатости и числа Re коэффициент трения равен $\zeta_{tr}=0,0038$ (точка Г).

Оценим, можно ли получить в данном случае поверхность днища, близкую к технически гладкой. При $Re = 2 \cdot 10^7$ такой поверхности соответствует относительная шероховатость $L/k=3 \cdot 10^5$ или абсолютная шероховатость $k = \frac{7500}{3 \cdot 10^5} = 0,025$ мм. Опыт показывает, что этого можно добиться, тщательно отшлифовав днище мелкой шкуркой, а затем отлакировав его. Оправдаются ли затраченные усилия? График показывает, что коэффициент сопротивления трения снижается до $\zeta_{tr} = 0,0028$ (точка Д), или на 30%, чем, конечно, не может пренебрегать экипаж, рассчитывающий на успех в гонках.

Линия Б позволяет оценить допустимую шероховатость днища для яхт различных размеров и различной скорости. Можно заметить, что с увеличением длины по ватерлинии и скорости требования к качеству поверхности возрастают.

Для ориентировки приведем значения шероховатости (в мм) для различных поверхностей:

деревянная, тщательно лакированная и шлифованная — 0,003—0,005;
деревянная, окрашенная и шлифованная — 0,02—0,03;
окрашенная патентованным покрытием — 0,04—0,06;
деревянная, окрашенная суриком — 0,15;
обычная доска — 0,5;
обросшее ракушками днище — до 4,0.

Мы уже говорили, что на части длины яхты, начиная от форштевня, может сохраняться ламинарный пограничный слой, если только излишняя шероховатость не будет способствовать турбулизации потока. Поэтому особенно важно тщательно обрабатывать носовую часть корпуса, все вхо-

дящие кромки киля, плавников и рулей. При малых поперечных размерах — хордах следует шлифовать всю поверхность киля и руля. В кормовой части корпуса, где толщина пограничного слоя увеличивается, требования к отделке поверхности могут быть несколько снижены.

Особенно сильно отражается на сопротивлении трения обрастание днища водорослями и ракушками. Если периодически не очищать днище яхт, постоянно находящихся в воде, то через два-три месяца сопротивление трения может увеличиться на 50—80%, что равносильно потере скорости в средний ветер на 15—25%.

Сопротивление формы. Даже у хорошо обтекаемого корпуса на ходу можно обнаружить кильватерный след — струю, в которой вода совершает вихревые движения. Это следствие отрыва от корпуса пограничного слоя в определенной точке (Б на рис. 14). Положение точки зависит от характера изменения кривизны поверхности по длине корпуса. Чем плавнее обводы кормовой оконечности, тем дальше к корме происходит отрыв пограничного слоя и меньше вихреобразование.

При нормальных соотношениях длины корпуса к ширине сопротивление формы невелико. Увеличение его может быть обусловлено наличием острых сколов, сломов обводов корпуса, неправильно спрофилированных киелей, рулей и других выступающих частей. Сопротивление формы увеличивается с уменьшением протяженности зоны ламинарного пограничного слоя, поэтому следует снять наплывы краски, уменьшить шероховатость, заделать выемки в обшивке, поставить обтекатели на выступающие патрубки и т. п.

Волновое сопротивление. Возникновение волн у корпуса судна при его движении вызвано действием сил тяжести жидкости на границе раздела воды и воздуха. В носовой оконечно-

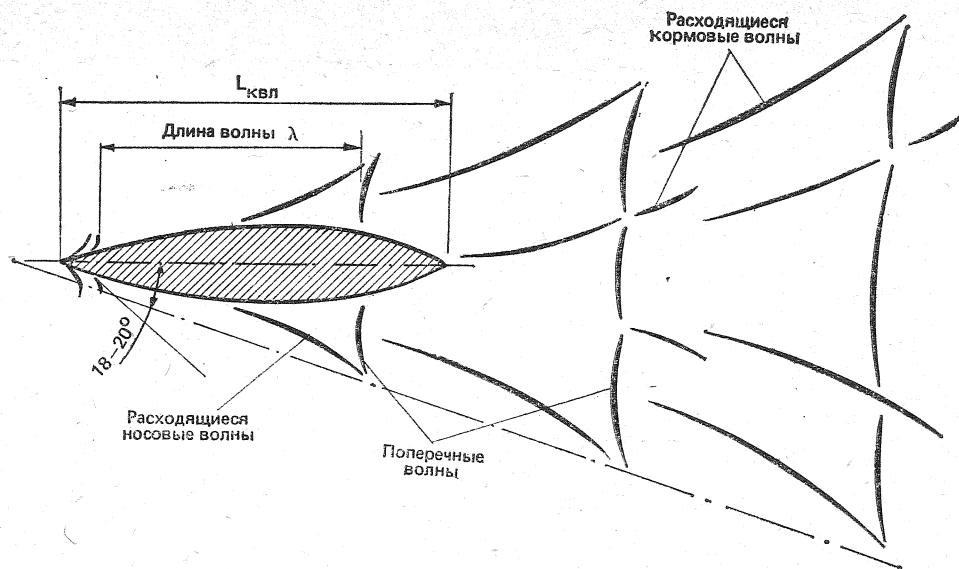


Рис. 16. Схема волновой системы, образующейся у корпуса судна

сти, в месте встречи корпуса с водой, давление резко повышается и вода поднимается на некоторую высоту. Ближе к миделю, где вследствие расширения корпуса судна скорость обтекающего потока увеличивается, давление в нем, согласно закону Бернулли, падает и уровень воды понижается. В кормовой части, где давление вновь повышается, образуется вторая вершина волны. Частицы воды начинают совершать колебания вблизи корпуса, которые вызывают вторичные колебания поверхности воды.

Возникает сложная система носовых и кормовых волн, которая по своему характеру одинакова для судов любых размеров (рис. 16). На малой скорости хорошо заметны расходящиеся волны, зарождающиеся в носу и корне судна. Их гребни расположены под углом 36–40° к диаметральной плоскости. На более высоких скоростях выделяются поперечные волны, гребни которых не выходят за пределы сектора, ограниченного углом 18–20° к ДП судна. Носовая

и кормовая системы поперечных волн взаимодействуют друг с другом, следствием чего может быть как увеличение высоты суммарной волны за корпом судна, так и ее уменьшение. По мере удаления от судна энергия волн поглощается средой и они постепенно затухают.

Величина волнового сопротивления изменяется в зависимости от скорости яхты. Из теории колебаний известно, что скорость распространения волн связана с их длиной λ соотношением

$$\lambda = \frac{2\pi v^2}{g}, \text{ м,} \quad (14)$$

где $\pi = 3,14$; v — скорость яхты, м/с; $g = 9,81$ м/с² — ускорение силы тяжести.

Поскольку волновая система движется вместе с яхтой, то и скорость распространения волны равна скорости яхты.

Таким образом, можно подсчитать длину поперечной волны для каждой скорости яхты:

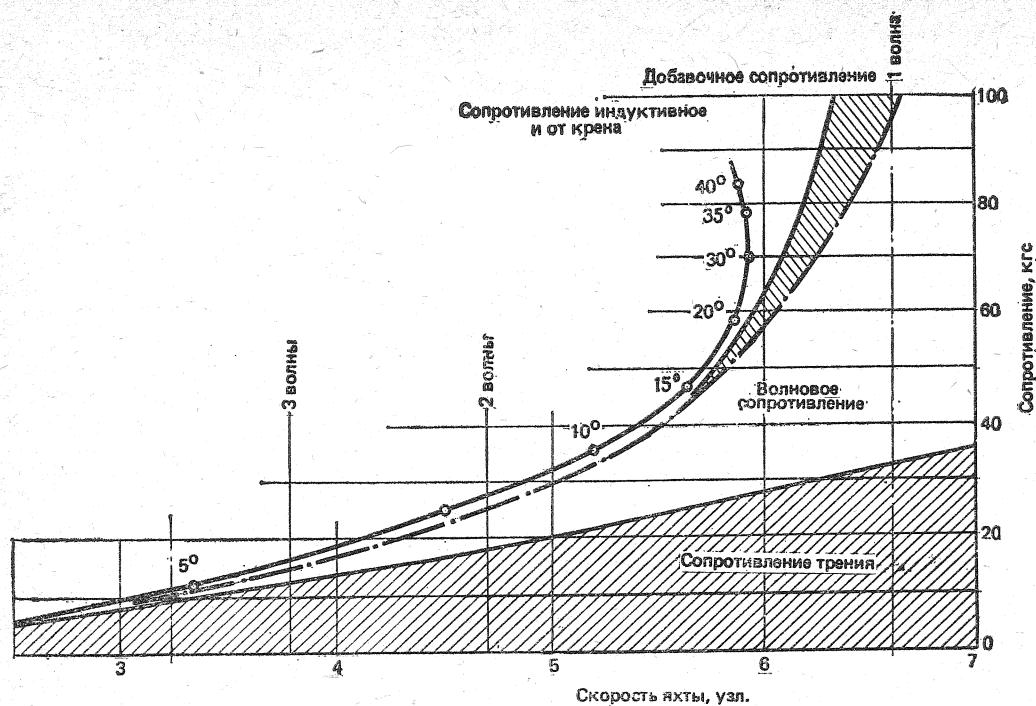


Рис. 18. Зависимость сопротивления воды движению яхты от ее скорости

противление и достичь гораздо более высоких скоростей, чем $3\sqrt{L_{\text{КВЛ}}}$. Например, катамаран типа «Центаурус» ($L_{\text{КВЛ}} = 10$ м) при благоприятных условиях развивает скорость 18 уз ($\sim 5,8\sqrt{L_{\text{КВЛ}}}$).

Дополнительное сопротивление на взволнованном море. Нередко яхтсмены обнаруживают, что после многих часов, затраченных на лавировку против волн, яхта выбирается на ветер считанные мили. И это после изматывающей килевой качки!

В данном случае приходится считаться с дополнительным сопротивлением движению яхты, которое появляется вследствие килевой качки судна. Особенно заметно падение скорости яхты, если период ее собственных продольных колебаний совпадает с периодом волн, т. е. при резонансе. В существовании же собственных колеба-

ний можно убедиться, если, например, спрыгнуть с носа яхты на причал. Каждая яхта при этом ведет себя, по-разному: у одной качка порывистая и скоро затухает, у другой — плавная и продолжается долго.

Установлено, что период собственных продольных колебаний яхты зависит от продольного момента инерции, т. е. от расположения масс по длине судна, от обводов корпуса, особенно в оконечностях, взаимного расположения центра тяжести площади ватерлинии и центра тяжести яхты. Если, например, ЦТ площади ватерлинии совпадает с ЦТ яхты, большие массы (якоря с цепями, двигатель цистерны топлива и пресной воды и т. п.) расположены далеко от миделя и обводы носа и кормы почти симметричны, яхта имеет достаточно большой период и амплитуду собственных колебаний,

который может оказаться близким к периоду наиболее неблагоприятной волны (длиной от 0,8 до 1,5 длины яхты по КВЛ). При сильной килевой качке яхта приводит в движение большие массы воды, непосредственно соприкасающиеся с корпусом, таким образом поглощается часть энергии ветра, которая могла бы затрачиваться на продвижение судна вперед, а сопротивление воды повышается в 2—2,5 раза (по сравнению с тихой волной).

При проектировании яхт обычно предусматривается возможность уменьшения размахов оконечностей яхты и смягчения качки. Наиболее тяжелые массы (фальшкиль, мачту, двигатель, цистерны и т. п.) стараются расположить вблизи центра тяжести судна. Обводы корпуса выше ватерлинии обычно выполняются несимметричными относительно миделя. По мере движения кормы вниз ширина ватерлинии у транца и погружающийся объем корпуса прогрессивно увеличиваются, препятствуя глубокому погружению кормы в воду и поглощая энергию качки. Хороший развал надводного борта в носу также способствует снижению ускорений носовой части яхты при движении ее вниз.

Большое значение для уменьшения продольной качки имеет уменьшение массы рангоута и такелажа, поскольку момент инерции массы яхты складывается из произведения отдельных масс на квадраты отстояния их от ЦТ судна. Таким образом, влияние на продольную качку килограмма массы на топе мачты, отстоящей от ЦТ на 12 м, аналогично грузу 70 кг, расположенным на уровне палубы.

Рис. 18 дает представление о доле добавочного сопротивления при ходе на волнении для крейсерско-гоночной яхты. При увеличении скорости эта составляющая общего сопротивления может возрасти до 15—25%, что равносильно потере скорости на 3—4%.

Потеря существенно возрастает при резонансе, поэтому экипаж должен предпринять специальные меры для уменьшения амплитуды и изменения частоты колебаний. С этой целью можно изменить курс яхты по отношению к волне, если позволяют обстоятельства, или попытаться изменить период собственных колебаний судна, переместив людей на корму. Тогда яхта получит дифферент на корму, которая своим объемом и большой шириной ватерлинии будет гасить качку.

Дополнительное сопротивление от крена и дрейфа. Испытания моделей яхт в опытных бассейнах показали, что с увеличением крена сопротивление корпуса превышает сопротивление тех же моделей, испытанных на ходу без крена. В качестве примера на рис. 18 дана кривая изменения дополнительного сопротивления яхты в зависимости от угла крена и скорости. При крене до 15° прирост сопротивления невелик — не более 5%. Однако на скорости около 6 уз и при крене 35° сопротивление уже на 38% больше, чем при плавании без крена. Для рассматриваемой яхты это приводит к потере 0,4 уз скорости.

Эксперименты позволили выяснить, что дополнительное сопротивление в данном случае может быть разделено на две составляющие — индуктивное сопротивление и сопротивление от крена. Обе составляющие вызваны действием кренящей силы F_d (см. рис. 4). Основным источником индуктивного сопротивления является подъемная сила на киле и руле, перетекание воды через нижнюю кромку плавников киля и руля со стороны повышенного давления на сторону разрежения, как мы уже говорили (см. рис. 20). Срывающиеся с нижней кромки вихри требуют дополнительных затрат энергии движущей силы. Чем больше величина подъемной силы, образующейся на плавниках, тем большее разность давлений на их сторонах и соответствен-

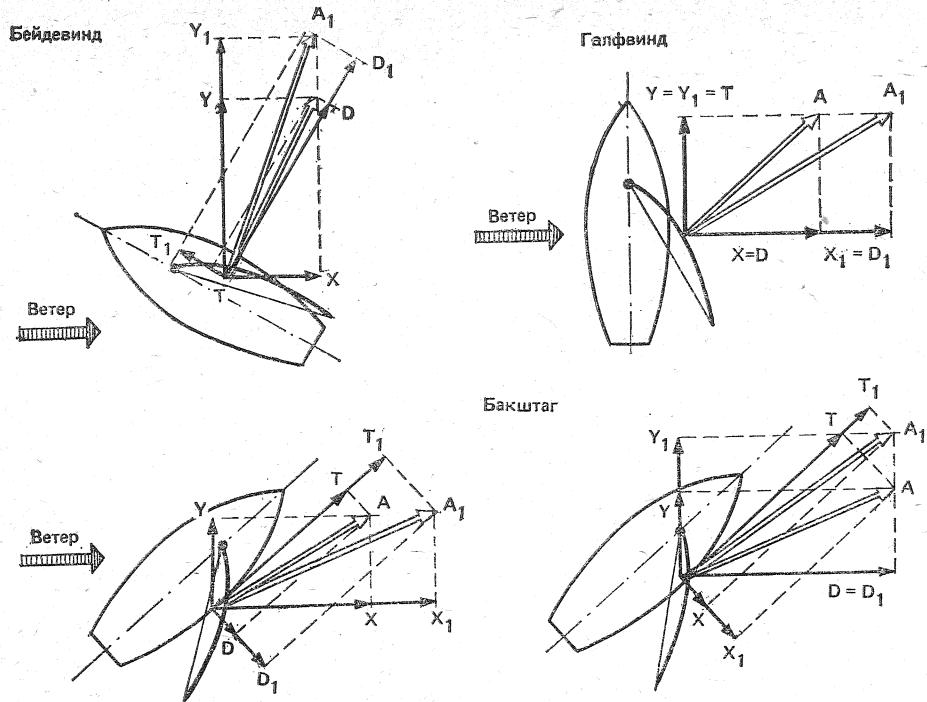


Рис. 20. Роль составляющих аэродинамической силы на различных курсах относительно вымпельного ветра

зом, при плавании в лавировку экипаж яхты должен стремиться по возможности добиться образования на парусах максимальной подъемной силы при минимальной величине лобового сопротивления. Иными словами, для острых курсов необходима работа паруса с максимальным аэродинамическим качеством, которое численно выражается в отношении подъемной силы к лобовому сопротивлению

$$K = \frac{Y}{X}$$

Отметим, что на курсе бейдевинд вымпельный ветер, являющийся результатом сложения векторов истинного ветра и движения яхты, имеет наивысшую скорость v_w (см. рис. 19, б), что сказывается на величине обеих составляющих аэродинамической силы — Y и X .

На курсе галфвинд подъемная сила является силой тяги, а лобовое сопротивление — силой дрейфа. Если лобовое сопротивление увеличить, то увеличится только сила дрейфа. Однако на ходовые качества яхты это влияет в заметно меньшей степени, чем на курсе бейдевинд, поскольку скорость вымпельного ветра на курсе галфвинд снизилась и, следовательно, величина силы дрейфа меньше.

На курсе бакштаг парус работает на больших углах атаки, при которых подъемная сила оказывается значительно меньше лобового сопротивления. Если увеличить лобовое сопротивление, то тяга и сила дрейфа увеличатся. При возрастании подъемной силы тяга также увеличивается, а сила дрейфа уменьшается. Следовательно, на курсе бакштаг рост и подъемной силы и (или) лобового сопротивления

увеличивает тягу. Сила дрейфа тем больше, чем больше лобовое сопротивление.

На курсе фордевинд угол атаки паруса близок к 90° , поэтому подъемная сила на парусе равна нулю, а лобовое сопротивление направлено по оси движения яхты и становится силой тяги. Сила дрейфа равна нулю. Следовательно, на курсе фордевинд для увеличения силы тяги нужно увеличивать лобовое сопротивление парусного вооружения, что на гоночных яхтах достигается постановкой дополнительных парусов — спинакера и блупера, имеющих большую площадь и плохо обтекаемую форму.

Отметим, что на курсе фордевинд на паруса действует вымпельный ветер минимальной скорости, в результате чего на паруса действуют сравнительно умеренные силы.

2.2. Особенности работы паруса как крыла

Только при небольшом значении угла атаки, когда на остром и тонком профиле еще не образуется подъемная сила, парус обтекается потоком воздуха, одинаково плавным с нижней и с верхней стороны. При небольшом увеличении угла атаки критическая точка перемещается на нижнюю сторону профиля и потоку приходится огибать острую кромку с большой скоростью. В результате у входящей кромки образуется значительное разрежение и под влиянием этого разрежения пограничный слой отрывается от поверхности профиля, образуя на его спинке вихревой пузырь. При достаточно большой скорости ветра поток быстро поглощает энергию вихрей и слой вновь присоединяется к поверх-

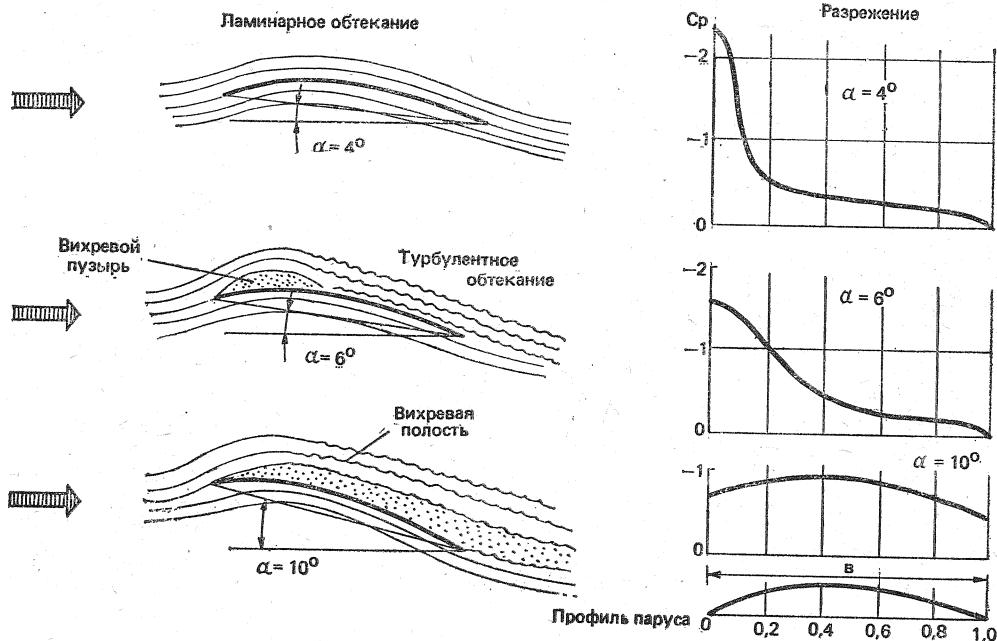


Рис. 21. Режим обтекания паруса и распределение пониженного давления (разрежения) по ширине профиля в зависимости от угла атаки α

ности профиля на некотором расстоянии от входящей кромки (рис. 21).

Вихревой пузырь, размеры которого увеличиваются по мере увеличения угла атаки, вносит существенные изменения в распределение пониженного давления вдоль подветренной стороны паруса по сравнению с показанным на рис. 10 распределением давления на жестком профиле с толстой скругленной передней кромкой. Напомним, что именно разрежение на подветренной стороне паруса играет основную роль в создании подъемной силы и, следовательно, силы тяги на острый к ветру курсах.

На рис. 21 представлены результаты

замеров разрежения на жестком выпукло-вогнутом профиле, аналогичном парусу. На малых углах атаки профиль обтекается плавным ламинарным потоком. При $\alpha = 4^\circ$ начинается отрыв пограничного слоя. В этот момент достигается наивысшее разрежение, пик которого расположен вблизи входящей кромки.

При $\alpha = 6^\circ$ вихревой пузырь занимает на подветренной стороне около 25% хорды профиля b . Разрежение уменьшается, и эпюра его становится более плавной.

При $\alpha = 10^\circ$ пузырь охватывает всю ширину профиля, его толщина составляет 3,5% b . Давление повышается в

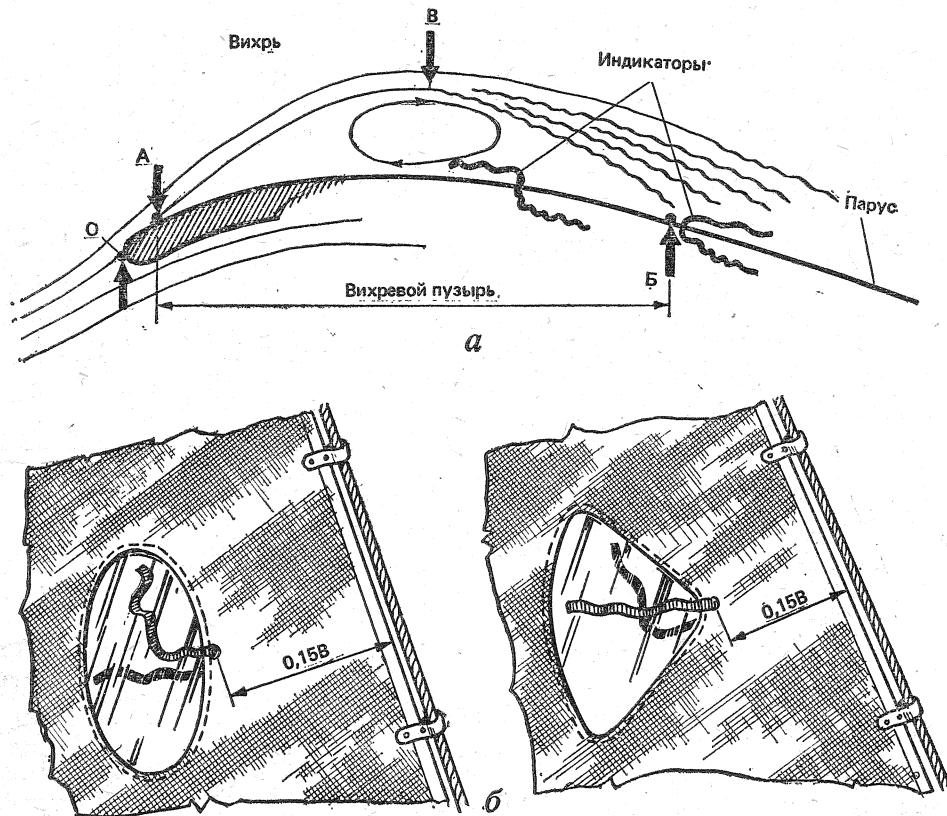


Рис. 22. Принцип работы (а) и установка индикаторов обтекания на стакселе (б):
0 — критическая точка; А — точка отрыва пограничного слоя; Б — точка возврата пограничного слоя; В — переход ламинарного режима потока в турбулентный

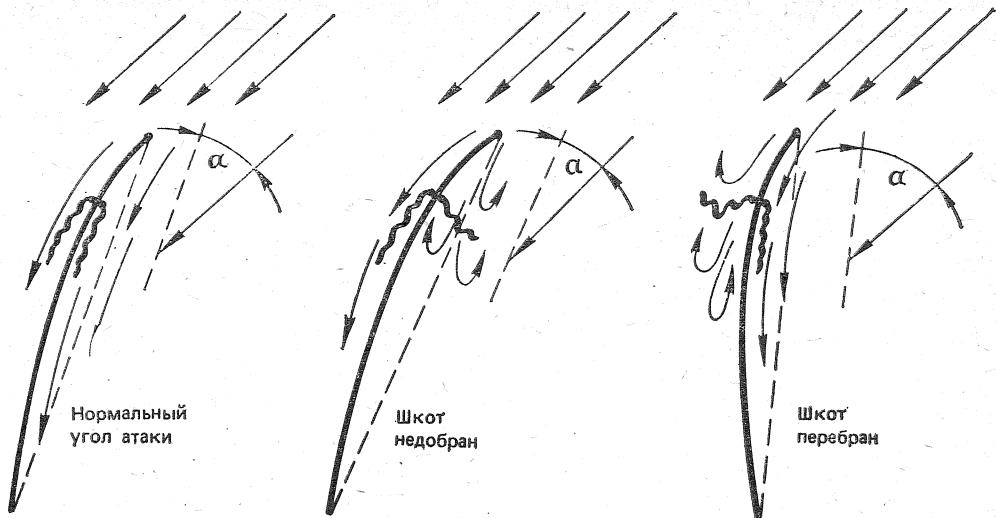


Рис. 23. Поведение индикаторов в зависимости от угла атаки паруса

2,5 раза по сравнению с разрежением при $\alpha=4^\circ$; пика разрежения практически нет — оно равномерно распределено по всей ширине профиля. Значит, подъемная сила существенно снизилась, а лобовое сопротивление возросло (см. рис. 27).

Таким образом, на курсе бейдевинд увеличение угла атаки паруса к вымпельному ветру более $5-6^\circ$ нежелательно. На реальном парусе вихревой пузырь представляет собой невидимый глазу цилиндрический валик, распространяющийся по всей высоте паруса. Чем больше выбран шкот, тем большая часть подветренной поверхности паруса захватывается вихревым валиком, уменьшая подъемную силу.

Для выбора оптимального угла атаки в последние годы используются индикаторы обтекания в виде ленточек из тонкой ткани, закрепленных на определенном расстоянии от передней шкаторины с обеих сторон паруса (рис. 22).

Таким местом является точка Б возврата пограничного слоя к поверхности паруса. При угле атаки $\alpha = 5^\circ$ она

отстоит от передней шкаторины примерно на 15% ширины паруса в каждом его поперечном сечении. Как только вихревой пузырь достигнет этой точки, ленточка индикатора на подветренной поверхности паруса, ранее направленная назад по потоку воздуха, отклонится вверх и вперед, указывая на возникновение здесь вихрей. Дальнейшее выбирание шкотов — увеличение угла атаки — не только бесполезно, но даже вредно, так как приводит к большой потере подъемной силы.

Установка трех-четырех подобных индикаторов, равномерно распределенных по высоте стакселя, облегчает рулевому правильный выбор курса при лавировке. Выбрав наивыгоднейшим образом шкоты для данного курса, ведут яхту таким образом, чтобы индикаторы на наветренной стороне стакселя слегка подрагивали, а на подветренной были вытянуты в сторону задней шкаторины (рис. 23).

Причиной падения подъемной силы на парусе является срыв потока с его подветренной стороны при увеличении

Еще более «пузатые» паруса $f/b = \frac{1}{5}$ и $\frac{1}{4}$ на курсе бейдевинд не только не дают увеличения силы тяги, но и отличаются намного большей величиной силы дрейфа. Однако более высокий коэффициент подъемной силы «пузатых» парусов может быть реализован на других, более полных, курсах по отношению к ветру: например, на курсе галфвинд, когда подъемная сила дает наибольшую составляющую на направление движения (см. рис. 24, б). В практике морских гонок это качество «пузатых» парусов используется благодаря смене на полных курсах лавировочных передних парусов на дрифтергеную, блупер или спинакер.

Следует заметить, что преимущества «пузатых» парусов могут быть использованы в основном при слабых ветрах, когда скорость яхты прямо пропорциональна силе тяги. В сильные ветра, когда яхта развивает свою предельную скорость под обычными лавировочными парусами и дальнейшее повышение тяги практически не увеличивает скорость, постановка «пузатых» парусов не дает эффекта. Более того, большая сила дрейфа «пузатого» паруса обуславливает больший крен и дрейф и соответствующее повышение сопротивления воды движению яхты.

В качестве основных (лавировочных) парусов для среднего ветра (2—4 балла) применяют паруса с «пузом» $f/b = 9\text{--}10\%$. Для слабого ветра выгодны более «пузатые» паруса — f/b до 12% , а при ветре более 5 баллов — паруса с «пузом» не более 6% ($f/b = \frac{1}{17}\text{--}\frac{1}{25}$).

В гонках яхтсмены широко пользуются различными способами регулирования величины «пуз» парусов в зависимости от силы ветра. Особенно это относится к настройке грота, так как по правилам *IOR* замена его во время гонок не допускается, а ветровые условия могут изменяться в довольно широких пределах. Основными средствами регулирования «пуз» грота явля-

ются продольный изгиб мачты, натяжение шкаторин (оттяжка Кэнингхэма и грота-шкот), уплощающий риф, натяжение гика-шкота и положение его блока на погоне по ширине яхты, оттяжка гика. Продольный изгиб мачты позволяет контролировать две верхние трети паруса, в то время как другие средства эффективны при изменении профиля у гика.

В слабый ветер, когда важно иметь грот наименее «пузатым», мачта должна быть прямой, грота-шкот и оттяжку гика выбирают не до конца, оттяжка Кэнингхэма растрявлена. Блок на погоне гика-шкота перемещают от ДП в сторону наветренного борта; гика-шкот втугую не выбирают.

Для увеличения «пуза» стакселя или генуи блок (кипу) стаксель-шкота перемещают вперед и ближе к ДП яхты. При этом «пузо» перемещается вперед, натяжение задней шкаторины ослабляется, зазор между гротом и стакселем увеличивается.

С усилением ветра мачте придают изгиб с выпуклостью, направленной вперед, увеличивая натяжение ахтерштага (при оснастке типа $\frac{3}{4}$ или $\frac{7}{8}$) или регулируя натяжение промежуточного штага и бакштагов (при топовой оснастке). Благодаря этому излишек паруса убирается в образовавшийся серп у передней шкаторины, «пузо» становится меньше и перемещается ближе к мачте. Оттяжку Кэнингхэма, грота-шкот и оттяжку гика выбирают втугую; блок гика-шкота смешают по погоне на подветренный борт. Шкоты выбирают более туго, чем в слабый ветер. При необходимости сделать парус еще более плоским в нижней части берут уплощающий риф, используя люверсы, расположенные вблизи гика.

Профиль генуи может быть сделан более плоским при передвижении блока стаксель-шкота назад и к борту и большем натяжении передней шкаторины. Значительное влияние на профиль передних парусов оказывает на-

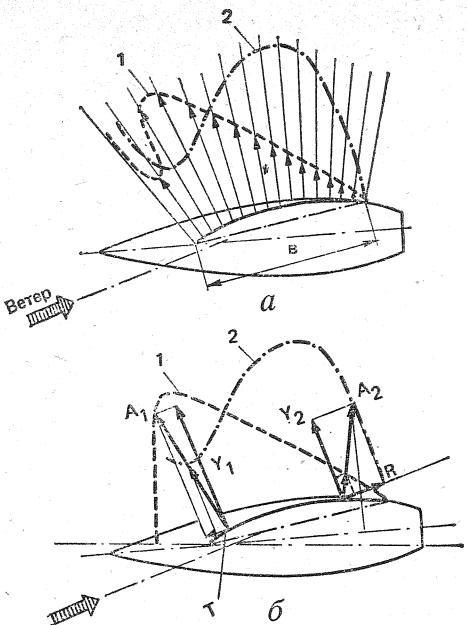


Рис. 27. Эффект распределения разрежения на подветренной стороне паруса на результирующую аэродинамическую силу на парусе:
а — эпюра распределения разрежения; б — силы на парусе. 1 — парус с максимальным «пузом», расположенным на расстоянии 0,4 b от передней шкаторины; 2 — парус с «пузом», расположенным на 0,6 b от передней шкаторины. Y_1 и Y_2 — подъемная сила; T и R — составляющие силы A по направлению ветра

тяжение штага: для того чтобы парус стал более плоским, необходимо по возможности ликвидировать прогиб штага.

Большое влияние на тяговые характеристики паруса кроме величины «пуза» оказывает место положения максимальной выпуклости от передней шкаторины. На рис. 27 показано распределение разрежения на подветренной стороне жесткой модели паруса с относительной величиной «пуза» $f/b = 0,188$ при отстоянии максимального «пуза» на 40 и 60% хорды от передней кромки и при угле атаки $\alpha = 15^\circ$ (характерный «провал» на эпюре давления является следствием развитого вихревого пузыря — см. рис. 21). Как видим, в создании движущей силы главную роль

играет передняя часть паруса, где концентрируется разрежение у паруса с «пузом», расположенным на 40% хорды от передней шкаторины. Когда же «пузо» смещено к задней шкаторине, область разрежения охватывает и заднюю часть профиля, вследствие чего увеличивается составляющая R , направленная против движения яхты. Таким образом, при смещении «пуза» к задней шкаторине эффективность паруса снижается как в результате падения подъемной силы в передней части паруса, так и в результате роста сил сопротивления, тормозящих ход судна.

Лавировочные паруса шьют с максимальной глубиной «пуза», расположенной от передней шкаторины на расстоянии от 35—40% ширины паруса b для плоских парусов, до 40—50% b для более полных.

Во всех поперечных сечениях максимальная глубина «пуза» должна находиться в указанных пределах. Поэтому по мере увеличения ширины паруса по направлению к гику соответственно увеличивается и абсолютная величина «пуза». У гика на обезветренном парусе «пузо» образует «мешочек», который в сильный ветер можно убрать в скатку уплощающего рифа.

Форма паруса. С точки зрения аэrodинамики крыла наиболее выгодным был бы парус с эллипсовидной верхней частью. Именно в его верхней части образуются потоки воздуха, перетекающего с наветренной стороны на подветренную — в область разрежения. В результате возникают вихри, срывающиеся с кромки паруса и уходящие в пространство. Эти возмущения требуют затрат кинетической энергии ветра, которые выражаются в росте общего аэродинамического сопротивления судна в виде составляющей индуктивного сопротивления.

Очевидно, что наибольшим индуктивным сопротивлением обладает четырехугольный гафельный парус, у ко-

торого перетекание воздуха происходит по верхней и нижней широким кромкам. Поэтому коэффициент подъемной силы здесь резко падает (см. рис. 8).

У паруса с эллипсовидной верхней частью величина подъемной силы из-за плавного уменьшения площади паруса у верхнего конца также плавно убывает. Благодаря этому плавно убывает и интенсивность перетекания воздуха через кромки, не происходит местного изменения угла атаки и коэффициента подъемной силы.

Попытка приблизить форму паруса к эллипсовидной при существующих ограничениях ширины фаловой доски и эластичности мачты была сделана, например, на английском двенадцатиметровике «Лайонхэт» — претенденте на Кубок Америки 1980 г.: верхняя часть мачты на нем была сильно изогнута. Испытания в аэродинамической трубе показали, что грут с гнутой мачтой дает примерно 10—30% увеличения движущей силы по сравнению с обычным бермудским парусом или увеличение скорости лавировки на ветер порядка 4%.

У треугольного паруса основная площадь и, следовательно, нагрузка сосредоточены в нижней трети. По мере приближения к фаловому углу площадь и подъемная сила убывают, что сопровождается соответствующим уменьшением скорости и фактического угла атаки паруса к набегающему потоку. Близ фалового угла также усиливается отрицательный эффект мачты, поскольку размеры ее сечения увеличиваются относительно хорды паруса. Эксперименты показали, что если срезать бермудский парус на 15% высоты от вершины, то практически его тяга не уменьшится.

Существенное влияние на характеристики паруса оказывает аэродинамическое удлинение паруса (отношение длины передней шкаторины) к его средней хорде, измеренной на половине

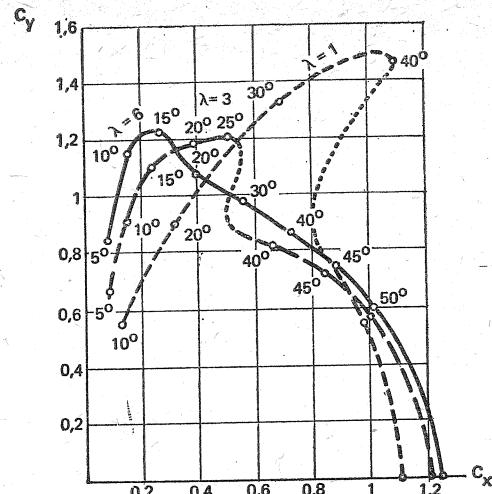


Рис. 28. Поляры парусов с различным аэродинамическим удлинением

не высоты, или отношение квадрата высоты паруса и его площади.

На рис. 28 представлены поляры трех парусов различного удлинения — от $\lambda=1$ до 6, имеющих одинаковое «пузо» $f/b=7,4\%$. Сравнивая поляры, можно заметить, что при угле атаки $\alpha=10^\circ$ наивысшую аэродинамическую силу дает парус с максимальным удлинением $\lambda=6$. Этот же парус имеет наивыгоднейшее направление аэродинамической силы для получения максимальной тяги на курсе бейдевинд.

Аэродинамическая сила на парусе, имеющем $\lambda=6$ достигает максимума при $\alpha=15^\circ$, затем падает. При углах атаки около 35° , т. е. на полных курсах, заметное преимущество получают более широкие паруса, имеющие $\lambda=1$. Таким образом, можно сделать вывод, что парус с большим удлинением при переходе яхты на полный курс становится менее выгодным. На курсе полный бакштаг, например, более быстрого ходной может оказаться яхта, оснащенная широкими гафельными парусами с удлинением около 1. Вот почему, несмотря на общепризнанное преиму-

щество бермудских парусов, гафельные паруса довольно часто применяют на моторно-парусных яхтах, у которых паруса используются преимущественно при сильных ветрах и на попутных курсах.

У большинства современных яхт лавировочные паруса имеют отношение длин шкаторин от 3 до 5; паруса для полных курсов — дрифтеры, блуперы и спинакеры шьют с соотношением шкаторин, близким к 1.

Пределом для использования парусов большого удлинения является ограниченная остойчивость яхт, не позволяющая чрезмерно повышать положение ЦП. Более высокая парусность требует также рангоута большего сечения, что приводит к распространению влияния мачты на большую часть площади грота.

2.4. Взаимодействие парусов

Мы рассматривали особенности аэродинамики одиночного паруса как крыла с тонким поперечным профилем. Большинство яхт, однако, оснащены по крайней мере двумя парусами — гротом и стакселем. Поскольку оба паруса расположены в непосредственной близости друг от друга и обтекаются одним потоком воздуха, то естественно предположить наличие их взаимного влияния.

До недавнего времени среди яхтсменов пользовалась популярностью теория Вентури, заимствованная из авиации. Согласно этой теории, основным назначением стакселя считалось создание щели — сопла между стакселем и гротом, входя в которую, поток воздуха увеличивает свою скорость, способствуя тем самым понижению давления на подветренной стороне грота, особенно в районе, где паруса перекрывают друг друга. В результате должна увеличиваться аэродинамическая сила на гроте.

В настоящее время взаимодействие

парусов рассматривается на основании вихревой теории крыла — исходя из наличия циркуляции вокруг обоих парусов (рис. 29). Основная роль в паре грот — стаксель принадлежит стакселю. Бессспорно, что воздух, протекающий в щели между гротом и стакселем, имеет повышенную скорость. Однако это прежде всего оказывается на скорости потока, обтекающего подветренную сторону стакселя. Частицы воздуха, вырываясь из щели, увлекают с собой воздух с подветренной стороны стакселя подобно эжектору. Соответственно ускоряется поток вдоль всей подветренной поверхности стакселя, увеличивается циркуляция вокруг его профиля и возрастает аэродинамическая сила. И что еще важно — парус может работать без срыва потока на больших углах атаки.

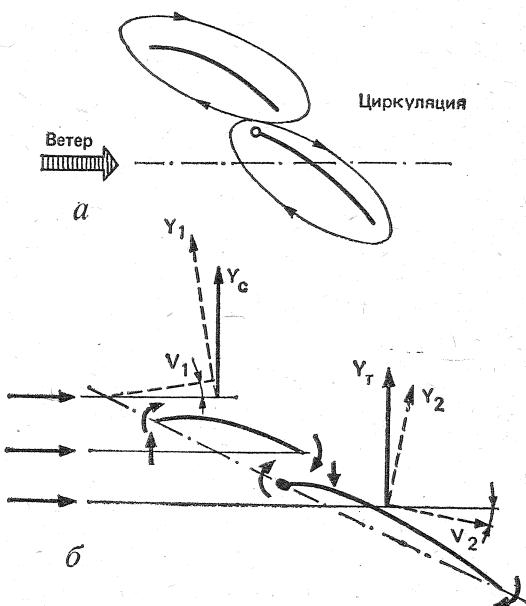


Рис. 29. Взаимодействие грота и стакселя:
а — циркуляция потока вокруг обоих парусов; б — влияние отклонения потока, натекающего на грот и стаксель под действием циркуляции; Y_c и Y_g — подъемные силы на стакселе и гроте, работающих как изолированные паруса; V_1 и V_2 — подъемные силы на парусах, работающих совместно; V_1 и V_2 — скорости, вызванные циркуляцией потока вокруг обоих парусов

струкция, например палуба, не обладает еще одним важным свойством — жесткостью, начинает «дышать» под нагрузкой. Для повышения жесткости палуб, переборок и наружной обшивки часто используют трехслойные (сэндвичевые) конструкции. Состоит такая конструкция из наружных тонких слоев стеклопластика и склеенного с ними внутреннего слоя — заполнителя из прочного легкого пенопласта или древесины бальзы.

Кили на пластмассовых яхтах чаще всего делают в виде сварных профилированных коробок из нержавеющей стали, которые присоединяют к корпусу на сквозных болтах, проходящих через усиленные флоры. Иногда балласт в виде свинцовой или чугунной дроби укладывают в полость киля, отформованного совместно с корпусом, и заливают связующим, которое после отвердевания превращается вместе с дробью в монолит.

Корпуса пластмассовых яхт долговечны, легки, стойки к воздействию атмосферы и морской воды, не подвержены гниению и повреждению червями. Недостатком материала является чувствительность к истиранию и к действию концентрированных нагрузок.

Малая жесткость корпусов требует подкреплять их продольными переборками, как это, например, сделано на яхте «Конрад-54», или трубчатыми ферменными конструкциями для предотвращения общего изгиба корпуса под действием тяги штагов и давления мачты.

В последние годы судостроительная древесина становится все более дефицитным и дорогим материалом на мировом рынке. Для яхтостроения применяются отборная высококачественная древесина тика, красного дерева и сибирского кедра (для обшивки) и дуба (для прочных деталей набора и вообще для всех частей судна), белого и гондурасского кедра. Используются

также хорошо выдержаные прямослойная сосна и ель, а также лиственница.

В известной степени выручает широкое применение kleеных конструкций и деталей, в которых можно использовать короткомерный материал. Благодаря качественному подбору древесины в kleеной детали она оказывается более прочной при меньшем сечении. В целом корпус получается более легким и прочным, чем собранный на металлическом крепеже.

Kleenой по пазам из реек выполняют и традиционную обшивку вгладь, которая ранее набиралась из досок и конопатилась. Kleenая обшивка monolitnaya и водонепроницаемая, но имеет недостаток — при сильных колебаниях влажности рейки могут трескаться и усыхать каждая в отдельности. Поэтому для стран с жарким климатом этот метод не применяется. Лучшие яхты строятся с обшивкой из тика в подводной части корпуса и из красного дерева в надводной.

Более легкая и прочная — двухслойная (а на самых крупных яхтах — и трехслойная) обшивка. Доски внутреннего слоя располагаются диагонально по отношению к ДП, а наружного — вдоль судна, поэтому такую обшивку часто называют диагонально-продольной. По правилам постройки яхт допускается уменьшение суммарной толщины двухслойной обшивки на 10%, а трехслойной — на 15% по сравнению с monolitной.

С конца 60-х гг. получил развитие еще один метод постройки деревянных корпусов яхт, при котором используются широкие полосы тонкого 3—4-миллиметрового шпона, укладывающиеся диагонально на позитивную форму — пуансон в несколько слоев*. Каждая полоса предварительно про-

* Шпон для постройки легких гоночных швертботов и яхт применяется в зарубежной и отечественной практике еще с 30-х годов.

питывается разжиженным эпоксидным связующим, которое проникает глубоко в поры древесины и консервирует ее от загнивания, предотвращает проникновение в обшивку древоточцев. Поверх уложенного и закрепленного временно на пуансоне первого слоя наносится связующее и накладывается второй слой полос и т. д. Эпоксидная смола плотно заполняет все зазоры между кромками полос шпона и объединяет его слои в обшивку-скрлупу, подобную стеклопластиковой. Снаружи корпус может быть покрыт лаком или краской либо оклеен слоем стеклоткани.

Корпуса небольших яхт по этому методу могут иметь безнаборную скрлупную конструкцию — прочность придают детали обстройки интерьера — переборки, рундуки и т. п. Более крупные корпуса (самой большой построенной яхтой является 28-метровая копия старинного кэча) формуют прямо по набору, состоящему из редко расставленных переборок и рамных шпангоутов, а также из продольных реечных стрингеров, установленных через 160—200 мм. По этому же методу делают палубы с надстройками и рубки.

При постройке деревянных корпусов утвердилась поперечная система набора — с довольно часто расставленными шпангоутами. Правила постройки яхт регламентируют размеры связей корпуса для различных типов шпангоутов, но наибольшее распространение получила постройка корпуса на гнутых шпангоутах, на ламинированных из реек и на комбинации ламинированных и гнутых. Между парой ламинированных шпангоутов могут устанавливаться два или три гнутых. Для восприятия усилий от фальшкиля и давления мачты в корпусе устанавливают переборки, усиленные рамные шпангоуты (иногда выполняемые из металлических профилей). Внизу ветви шпангоутов соединяют деревянны-

ми листовыми или коваными металлическими флорами, разносящими нагрузку на достаточно большую часть шпангоута по ширине корпуса (рис. 34, б).

Палубный настил на деревянных и металлических яхтах делается чаще всего из водостойкой фанеры. Фанерная палуба легче и прочнее обычного настила из палубника — не течет, не рассыхается под воздействием солнца, не требует постоянного ухода. Ее можно окрасить, оклеить стеклотканью на эпоксидном связующем или покрыть парусиной на краске. На фанеру могут быть наклеены тонкие декоративные планки из тика, имитирующие традиционный палубный настил. Нелакированная тиковая палуба обладает помимо прочих еще одним достоинством — по ней не так скользко ходить, как по палубе из другой древесины или окрашенной.

Корпуса многих крейсерско-гоночных яхт, особенно длиной более 15 м, построены цельносварными из алюминиево-магниевых сплавов. Сплавы эти (например, АМг5В) обладают высокой стойкостью против коррозии в морской воде, легко деформируются в холодном состоянии, хорошо свариваются в среде инертного газа аргона. Толщина наружной обшивки на яхтах длиной 15—16 м составляет 5—6 мм; кильевой пояс может быть изготовлен из листов толщиной до 8 мм. За редким исключением, на алюминиевых яхтах используется поперечная система набора, причем расстояние между шпангоутами составляет 350—550 мм. Шпангоуты изготавливают из полособульбовых или тавровых прессованных профилей. Свинцовый или чугунный фальшкиль должен быть надежно изолирован от алюминиевого корпуса с помощью битумной мастики или эпоксидного компаунда.

Крейсерско-гоночные яхты из стали в последние годы строят крайне редко, хотя в конце 60-х гг., когда сталь-

ной корпус давал яхте преимущество при обмере по правилам RORC, было построено немало стальных «однотонников» и даже яхт меньших размерений. Толщина наружной обшивки на цельносварных яхтах длиной 12—18 м варьируется от 4 до 6 мм.

Так как сталь и алюминий обладают лучшей теплопроводностью, чем дерево и стеклопластик, на яхтах из этих материалов необходима тепловая изоляция жилых помещений. Такая изоляция в виде плит из экспанзита (прессованная пробка), поропласта и других материалов наклеивается изнутри на наружную обшивку и защищается декоративными материалами — пластиком, фанерой, линкрустом.

Палубы и надстройки металлических яхт изготавливают из фанеры или металла с покрытием деревянным настилом или нескользящей мастикой.

3.3. Устройства, системы и снабжение крейсерско-гоночных яхт

Безопасность эксплуатации и обитаемость яхты в большой степени зависят от того, насколько хорошо судно оснащено соответствующим оборудованием, устройствами и системами. К числу важнейших судовых устройств относятся якорно-швартовное, рулевое, леерное устройства и яхтенный туник.

Якорное устройство. Количество и вес становых якорей, калибр якорной цепи и ее длина для крейсерских яхт определяются правилами классификации и постройки (табл. 2). Яхта, уходящая в дальнее плавание, должна быть укомплектована не менее чем двумя становыми якорями, один из которых примерно на 20—25% должен быть тяжелее основного, наиболее часто используемого якоря. Кроме того, на судне должны быть завозные якоря или верпы. Масса самого большого верпа (стоп-анкера) принимается обычно равной 75% основного ста-

нового якоря, а самого легкого — драка — 25% становового.

Наиболее распространенным типом якоря на отечественных яхтах остается адмиралтейский якорь, обладающий высокой держащей силой практически на любом грунте. К недостаткам адмиралтейского якоря относят сравнительно большую массу и необходимость вооружать его перед каждой постановкой на якорь.

Таблица 2

Нормы снабжения крейсерско-гоночных яхт якорями, якорными и швартовыми канатами и водоотливными средствами

Классы яхт IOR	VI	V	IV—III	II
Якоря:				
количество, шт.	1	1	2	2
вес, кг	15	18	12 и 18	18 и 25
Якорная цепь:				
длина, м	30	30	40	60
калибр, мм	5	6	7	8
Якорный канат:				
окружность, мм	30	50	60	
длина, м	55	60	70	
Завозной канат:				
окружность, мм	40	50	60	60
длина, м	45	50	55	60
Швартовые концы, мм				
окружность, мм	45	50	55	60
длина, м	5	5	6	8
Ведра, шт.	1	1	1	2
Помпа водоотливная с диаметром цилиндра не менее, мм	25	30	40	50

Примечание. Вес якорей указан для адмиралтейского якоря. При применении бесштоковых якорей их вес должен быть на 25% больше. В случае применения якорей повышенной держащей силы они подбираются по величине держащей силы, которая должна быть не менее, чем у адмиралтейского якоря, указанного в таблице.

На яхтах находят применение также легкие бесштоковые якоря с поворотными лапами типа Данфорта, Матросова и Холла, а также якорь-плуг

(или лемеховый). Относительно своей массы якоря Данфорта, Матросова и лемеховый развивают очень высокую держащую силу на песчаных грунтах и в плотном иле, но уступают адмиралтейскому при стоянке на каменистом грунте и гальке. Кроме того, при съемке в сильный ветер, когда яхту без помощи двигателя трудно привести в положение «панер», требуются большие усилия для отрыва якорей этих типов от грунта.

Для определения необходимой массы адмиралтейского якоря можно воспользоваться приближенной формулой:

$$W = 8 \sqrt[3]{D^2}, \text{ кг,} \quad (18)$$

где D — водоизмещение яхты в тоннах.

Массу второго якоря можно принять равной 75% массы первого. Калибр якорной цепи подсчитывается по формуле:

$$d = 4,7 \sqrt[3]{D}, \text{ мм.} \quad (19)$$

Якорные цепи предпочтительнее канатов, так как цепь благодаря большой массе прижимает веретено якоря к грунту и амортизирует рывки яхты при волнении.

При стоянке на якоре цепь или канат крепятся на яхте за прочный битенг, кнехт или берется на стопора. Специальные механизмы для выборки каната или цепи — шпили и брашпили применяются только на самых крупных яхтах длиной свыше 15 м. Для отрыва якоря от грунта на яхтах меньших размерений применяют тали со скобой, перекладываемой за звенья цепи.

Чем ближе к форштевню закреплены клюзы, полуклюзы или роульс для якорной цепи, тем меньше яхту водят на стоянке и легче выбирается цепь. Лучшим устройством считается роульс со стопором, установленный на форштевне.

Для размещения якорных цепей яхты оборудуются цепными ящиками. Предпочтительнее узкие и высокие ящики, в которые цепь «самоукладывается» без завалов и калышек. Конец цепи крепится на судне к жвакагалсу — короткому куску цепи с быстроотдающимся устройством, которое при полном вытравливании якорь-цепи появляется из палубного клюза и готово к немедленной отдаче.

Необходимым дополнением якорного устройства являются томбуй и буйреп, а также крепления якорей по-попходному на их штатных местах.

Швартовое устройство состоит из битенгов и кнехтов, установленных в носовой и кормовой частях палубы, киповых планок (полуклюзов), придающих швартовам правильное направление и предохраняющих их от перетирания о ватервейс или фальшборт. Длину швартовых концов, для которых используются синтетические тросы из капрона, лавсана и т. п., рекомендуется принимать равной удвоенной длине яхты, а диаметр подбирать так, чтобы разрывная нагрузка троса была бы не меньше водоизмещения яхты.

Рулевое устройство. Румпель — наиболее простое и надежное устройство, при котором рулевой хорошо чувствует яхту, если, конечно, рулевые петли хорошо отцентрированы и правильно выбран коэффициент компенсации балансирного руля. Недостатком румпеля являются его длина, мешающая работе в кокпите, и довольно значительные усилия при управлении яхтой в свежий ветер. В большую волну при попутных ветрах иногда приходится управлять яхтой с помощью румпель-талей, между румпелем и подходящими утками на палубе.

Яхты выше 10 м длиной иногда управляются с помощью штурвала большого диаметра и тросовой передачи на сектор, закрепленный на баллере над сальником гельмпорта (рис.

поперечного сечения и масса: для раскрепления мачты требуется тяжелый стоячий такелаж. Высокое расположение центра парусности вызывает необходимость повышать остойчивость, увеличивать массу балласта. При усилении ветра экипажу приходится брать рифы на гроте и заменять передние паруса на меньшие по площади.

В прошлом при парусности 60—200 м² яхты нередко оснащались вооружением типа иол. Площадь бизани на иоле составляет всего 10—12% общей площади парусности, и роль этого паруса в создании тяги невелика. Бизань, однако, оказывает существенное влияние на центровку яхты, обеспечивает исключительную поворотливость, особенно когда в штормовых условиях несут небольшой стаксель в комбинации с бизанью.

Вооружение типа кэч, которое целесообразно при оснащении яхт парусностью 120—250 м² благодаря более равномерному распределению общей площади между тремя основными парусами (бизань — 20—25%, грот — 45—50%, стаксель — 30—35%) предпочтается для оснащения крейсерских и гоночных океанских макси-яхт. Для уменьшения влияния стекающего с грота потока воздуха на работу бизани бизань-мачту часто относят на значительно большее расстояние от грот-мачты, чем при традиционной оснастке этого типа.

Кэч обладает заметно худшими качествами на лавировке, чем шлюп или иол, но лучше идет под стакселем и бизанью и устойчивее лежит в дрейфе, чем иол.

Тендер в его классическом виде — с двумя или тремя передними парусами — стакселем и кливером, так же как и шхуна, в последние годы практически не применяется. Многие шлюпы снабжаются внутренним (нижним) штагом, на котором могут ставиться дополнительные стаксели как в сла-

бые, так и в свежие ветра. Но основную роль играет топовый генуэзский стаксель. Шхуной вооружают яхты парусностью 200—300 м², причем используется преимущественно стаксельное вооружение.

В 60-е гг. крейсерско-гоночные яхты предпочитали вооружать шлюпом с топовым стакселем, поскольку стаксель является более эффективным парусом, чем грот. К тому же при топовой оснастке допускается постановка спинакера большей площади, чем при оснастке типа $\frac{7}{8}$ или $\frac{3}{4}$ — по положению точки крепления основного штага относительно общей высоты мачты. В последние годы, однако, наметилась тенденция вновь оснащать яхты, особенно младших классов (четверть- и полутонники) шлюпом типа $\frac{7}{8}$ или $\frac{3}{4}$. Как показал опыт параллельных испытаний однотипных яхт, топовый и $\frac{7}{8}$ варианты равнозначны по лавировочным качествам. На полных курсах яхта с топовой оснасткой получает преимущество в скорости благодаря большей площади спинакера. Однако уже на крутом бакштаге из-за малой площади грота топовый шлюп проявляет склонность к броцингу. На бакштаге и галфвинде шлюп типа $\frac{7}{8}$ легче в управлении как благодаря меньшей величине сил, действующих на спинакере, так и за счет повышения роли грота.

К достоинствам оснастки типа $\frac{7}{8}$ относят также меньшее сечение мачты и возможность регулировать ее изгиб с помощью штагов и бакштагов. Этот тип оснастки лучше для сильных и свежих ветров; топовая оснастка предпочтительна для слабого ветра.

Подавляющее большинство яхт оснащается мачтами, изготовленными методом прессования из алюминиево-магниевых сплавов. Оптимальные весовые характеристики получаются в случае использования профилей мачты с переменной толщиной стенки, утолщающейся в тех местах попереч-

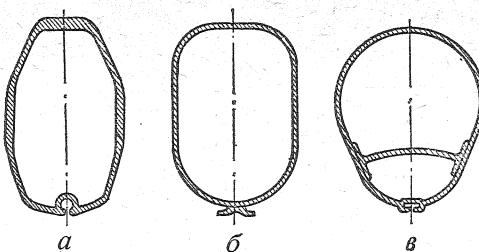


Рис. 39. Поперечное сечение мачт из легкого сплава:

а — мачта с переменной толщиной стенки для топовой оснастки крупных яхт; *б* — мачта крейсерской яхты водоизмещением около 3 т; *в* — мачта мореходной крейсерско-гоночной яхты

ного сечения, где действуют наибольшие напряжения (рис. 39). Соотношение размеров продольной и поперечной оси сечения составляет 1,25—1,50. Для яхт меньших размерений применяются мачты овального сечения и с постоянной толщиной стенки.

Деревянные мачты выполняются kleenой пустотелой конструкции овального или прямоугольного сечения со скругленными углами. Толщина стенок составляет $\frac{1}{5}$ поперечного размера, а в местах крепления такелажа и в нижней части мачта делается сплошной.

Алюминиевые мачты на 40% легче деревянных и более надежны в длительной эксплуатации и позволяют сделать внутреннюю проводку фалов, чем существенно снизить воздушное сопротивление.

Стоячий такелаж изготавливается из жестких стальных тросов конструкции 1×19 — спиральной свивки из 19 нержавеющих стальных проволок. В отечественной практике применяется трос 6×7+10С, а на зарубежных яхтах можно видеть такелаж из сплошной нержавеющей проволоки. Следует помнить, что от жесткости троса зависит распределение нагрузки от парусов между мачтой и стоячим такелажем. Чем меньше проволок в пряди при данном диаметре троса, тем больше его жесткость и тем на меньшую

длину он растягивается при повышении нагрузки — усилении ветра. Особенno важно иметь жесткий трос на стоячем такелаже в верхней части мачты — на топ-вантах, штаге и ахтерштаге с тем, чтобы уменьшить его прогиб, который увеличивается по мере удаления от опорной точки — пяртнерса или стекса.

Суммарная разрывная нагрузка, которую должны выдерживать ванты одного борта, составляет около $1,25D$ — водоизмещения яхты. Это показатель не только прочности, но и жесткости стоячего такелажа. Между отдельными вантами суммарную нагрузку можно распределить в зависимости от схемы раскрепления мачты такелажем, и в первую очередь от количества краспиц (рис. 40).

Для штага и ахтерштага при топовом стакселе применяют такой же трос; как и для самых прочных вант. Следует учитывать, что обрыв штага равносителен потере мачты. При оснастке типа $\frac{7}{8}$ штаг должен иметь такую же прочность, что и одиночные нижние ванты; ахтерштаг и бакштаги — не менее прочности троса для верхних вант.

Важное значение имеет угол между мачтой и вантой. Угол менее 12° можно считать недостаточным — получается большое усилие сжатия в мачте, а ванты необходимо вырубать из бо-

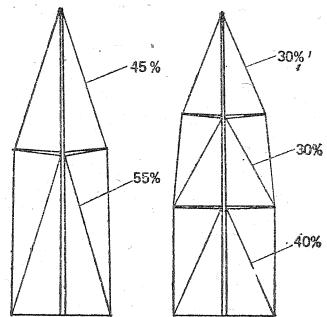


Рис. 40. Схема раскрепления мачт крейсерско-гоночных яхт и нагрузки на ванты в процентах от общего усилия

равный 16 диаметрам троса. Огибаю шкивы меньшего диаметра, проволоки троса подвергаются большим напряжениям смятия, и при повторяющихся на качке перемещениях фала по шкиву трос быстро изнашивается. Также важно, чтобы шкивы были изготовлены из более мягкого, чем сталь, материала — прочной пластмассы или бронзы.

На топ мачты обычно проводится один грот-фал, два фала генуи и два спинакер-фала (обычно с вертлюжным блоком). Кроме того, на мачте может быть фал для стакселя, топенанта грота- и спинакер-гиков. При металлической мачте фалы проводятся внутри нее таким образом, чтобы исключалось переплетение отдельных тросов между собой. В нижней части

мачты фалы выводят наружу и через направляющие фут-блоки проводят их на лебедки шпилевого типа, обычно устанавливаемые впереди кокпита команды.

Гика-шкот проводится даже на крупных яхтах в 4 лопаря — необходимое усилие для добирания обеспечивается специальной лебедкой. Вместо двухшкивных предпочтительнее одинарные блоки, при которых трос не закручивается и легко травится без его раздергивания. Нижние блоки крепят к ползуну, перемещаемому по по-перечному погону с помощью специальных талей.

Для генуи часто применяют шкоты из стального троса, наращивая их на ходовых концах короткими отрезками синтетического троса для закладыва-

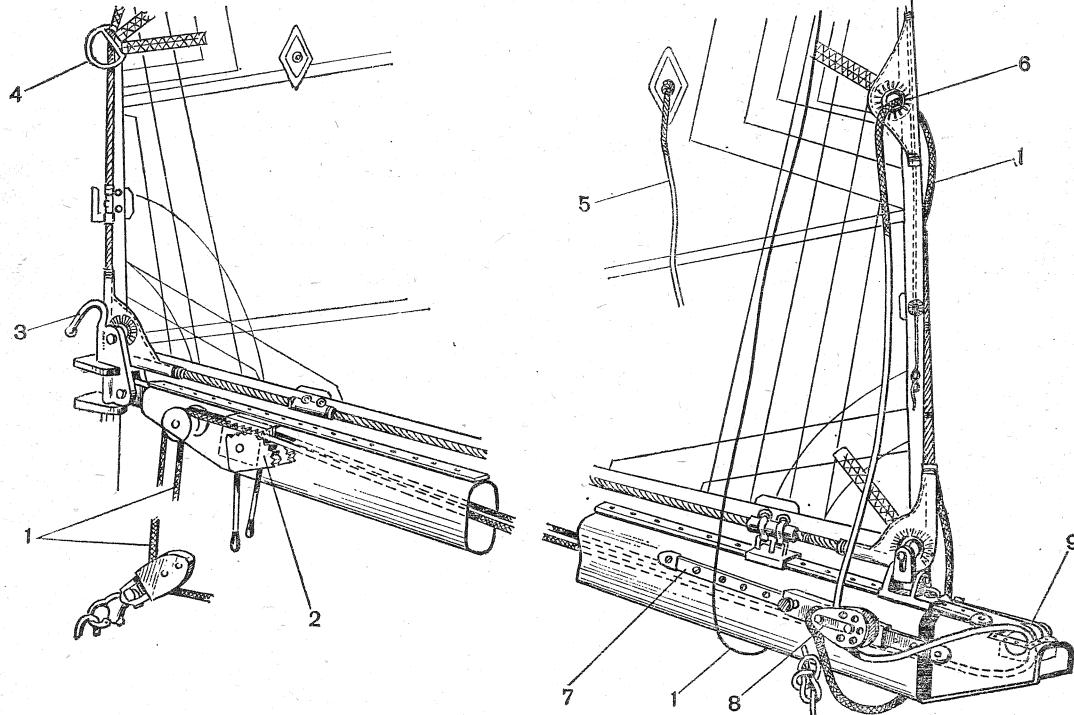


Рис. 45. Оснастка гика для взятия рифов:

1 — риф-шкентели; 2 — стопора риф-шкентелей; 3 — крюк для закладывания кренге льса скобы 4; 5 — риф-штерты; 6 — риф-кренгель; 7 — рельс; 8 — блок риф-шкентеля на ползуне; 9 — врезные шкивы для шкентелей

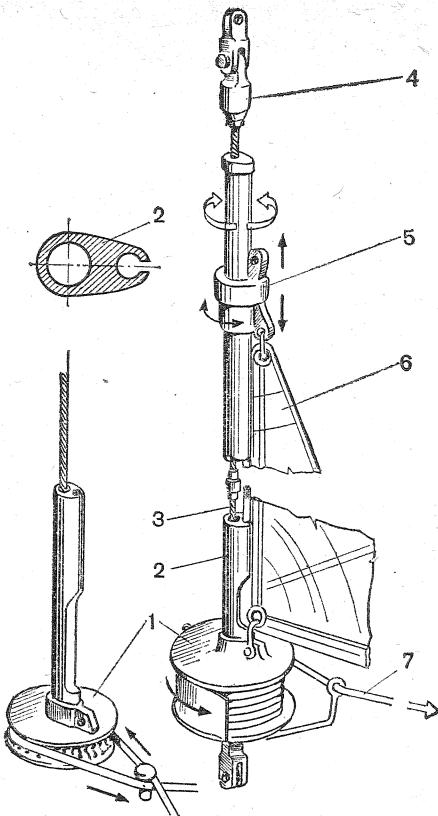


Рис. 46. Устройство для закрутки стакселя вокруг штага:

1 — барабан; 2 — обтекатель; 3 — штаг; 4 — вертлюг; 5 — обойма для крепления фалового угла; 6 — парус; 7 — приводной трос

ния на барабан лебедки. Такие комбинированные шкоты хороши тем, что не вытягиваются в сильный ветер и по-

зволяют сохранить угол атаки паруса при порывах ветра. Для спинакер-шкотов хорош полипропиленовый трос, который не намокает, а спинакер-брас лучше вырубить из стального тросика — он не вытягивается и позволяет сохранить оптимальную настройку спинакера при порывах ветра.

Оттяжка гика в виде многократных талей на новейших яхтах заменяется винтовым или гидравлическим талрепом, что позволяет отказаться от проводки гика-топенанта.

На рис. 45 представлена проводка бегучего такелажа для взятия рифов на гроте, а на рис. 46 — схема устройства для закрутки стакселя вокруг штага, снабженного обтекателем с ликпазом. На гоночных яхтах это устройство используется для временной уборки генуи при замене ее спинакером либо другим парусом, имеющим свободную переднюю шкаторину. Удобен также обтекатель штага с двумя ликпазами, который позволяет в спокойной обстановке поставить новый стаксель, а затем убрать предыдущий.

В крейсерском плавании устройство для закрутки стакселя может быть использовано для уменьшения его площади, особенно если он скроен специально для этой цели плоским и с высоким шкотовым углом. Последнее позволяет при закрутке стакселя использовать одни и те же кипы стаксель-шкотов.

Глава 4

ПРАВИЛА ОБМЕРА КРЕЙСЕРСКО-ГОНОЧНЫХ ЯХТ

4.1. Значение правил обмера

Среди многочисленных задач капитана крейсерско-гоночной яхты задача получения правильно оформленного мерительного свидетельства, подтверждающего класс или гоночный балл яхты, должна занимать далеко

не последнее место. Случается, что экипаж, старательно готовивший яхту к гонкам, лишается права на участие в них из-за того, что мерительное свидетельство оказалось не в порядке. Бывает и такое: при ремонте немного изменили какой-либо размер, и в результате гоночный балл яхты существует.

и по этой линии откладывают пройденное расстояние. Над линией пути надписывают принятый к учету угол дрейфа со своим знаком.

Счисление пути с учетом сноса течением. Течения характеризуются направлением в градусах по круговому счету и скоростью в узлах. В отличие от ветра направление течения принимают «из компаса», т. е. в ту сторону горизонта, куда оно направлено.

Снос течением не учитывается относительными лагами, поэтому его нужно учитывать при прокладке. Зная его направление и скорость, можно решить две основные задачи:

1. Куда придет судно, если при данном течении рулевой будет править заданным курсом (прямая задача).

2. Какой нужно держать курс, чтобы, несмотря на течение, попасть в нужную точку (обратная задача).

Сведения о течениях можно найти на морских картах, в лоциях и в атласах течений. В них даются средние значения данных, которые могут значительно отличаться от действительных. Последние можно определить из наблюдений навигационных ориентиров при плавании в видимости берегов. С этой целью получают и наносят на карту серию обсерваций за период не менее двух часов. Через обсервованные точки проводят оптимальную прямую линию АС (см. рис. 72) таким образом, чтобы суммы уклонений обсерваций по обе стороны от нее были равны, а от первой обсервации проводят линию ИК. Соединяют отрезком прямой ВС обсервованную и счислимую точки, соответствующие моменту последнего определения местоположения судна. Тогда направление течения покажет отрезок ВС от счислимой точки к обсервованной, а скорость его выражится длиной отрезка ВС (в милях), отнесенной к единице времени (в часах). Например, если $BC=2,4$ мили и время плавания между точками А и В равно 2 часам, то

$$\text{скорость течения } V_t = \frac{2,4}{2} = 1,2 \text{ уз.}$$

Таким образом, истинная скорость судна относительно грунта может быть получена графическим построением как равнодействующая двух скоростей: скорости судна относительно воды V_l (эта скорость учитывается лагами) и скорости течения V_t . Линия, по которой перемещается судно в направлении вектора истинной скорости, называется линией пути судна на течении. При этом диаметральная плоскость судна остается параллельной линии ИК, а угол между линиями пути и ИК называется углом сноса течением β .

Угол между истинным меридианом и направлением линии пути называется путевым углом на течении ПУ $_\beta$.

Если течение направлено в левый борт, снос судна происходит вправо и угол сноса β имеет знак +, если течение направлено в правый борт, то снос — влево, а угол сноса β отрицателен. Запишем очевидную зависимость:

$$ПУ_\beta = ИК + (\pm \beta). \quad (48)$$

При ведении прокладки на карту наносят линию пути судна на течении, над которой надписывают КК, поправку компаса и угол сноса β со своим знаком. Пройденное по лагу расстояние (или по времени и скорости, измеренной относительно воды одним из способов) откладывают по линии ИК, проведенной тонкой чертой. Счислимые точки с линии ИК переносят по направлению течения на линию пути судна и над ними надписывают соответствующее время.

При решении прямой задачи необходимо по известным КК, скорости по лагу V_l (относительно воды) и параметрам течения найти угол сноса β , ПУ $_\beta$ и истинную скорость судна. Для решения этой задачи сначала вычисляют ИК = КК + ΔК, затем строят на карте треугольник скоростей (рис. 73),

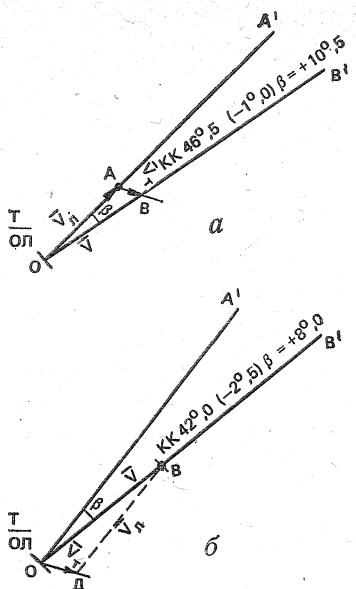


Рис. 73. Путь (а) и истинный курс яхты (б) на течении

т. е. выполняют графическое сложение (в едином масштабе) двух известных векторов \bar{V}_l и \bar{V}_t , и получают вектор истинной скорости судна \bar{V} . Построение начинают с прокладки от начальной точки O линии ИК; по ней откладывают в условном масштабе вектор скорости судна \bar{V}_l , из конца которого в том же масштабе прокладывают вектор скорости течения \bar{V}_t . Затем для нахождения вектора, равнодействующего двум слагаемым векторам, соединяют начальную точку O с концом вектора \bar{V}_t (точка B). В результате получают вектор истинной скорости судна \bar{V} (абсолютная величина в том же масштабе, что \bar{V}_l и \bar{V}_t), линию пути судна на течении, ПУ_β и угол сноса β , снимаемые с карты с помощью прокладочных инструментов.

Суть обратной задачи заключается в определении КК, V и угла сноса β при известных ПУ_β, лаговой скорости судна относительно воды V_l и вектора течения \bar{V}_t .

Задача решается графически. Из начальной точки (рис. 73) прокладывают линию пути судна и вектор скорости течения \bar{V}_t (в условном масштабе). Затем из конца вектора \bar{V}_t раствором циркуля, равным величине V_l в том же масштабе, делают засечку на линии пути (точка B). Соединив полученную на линии пути точку с концом вектора течения, получают линию ИК, которую параллельно переносят в начальную точку O и проводят линию ИК судна. Измерив транспортиром значение ИК, проведенного на карте, переводят его в КК.

Угол сноса β определяют из соотношения $\beta = \text{ПУ}_{\beta} - \text{ИК}$. Истинная скорость судна V соответствует величине отрезка OB в том же масштабе, что V_l и V_t .

Если изменяются скорость судна или элементы течения, то треугольник скоростей строят заново. При попутном или встречном течении истинная скорость судна V равна алгебраической сумме скорости судна относительно воды (V_l) и скорости течения (V_t), а треугольник скоростей в этом случае превращается в прямую линию.

Счисление пути при учете дрейфа и течения. При плавании в условиях совместного воздействия на судно ветра и течения необходимо прокладывать на карте линию пути судна при дрейфе и течении, над которой надписывать КК, поправку компаса и суммарный угол сноса $c = a + \beta$ (алгебраическая сумма, где a и β берутся со своими знаками). На карте также прокладывают линию пути при дрейфе, на которой по лагу или скорости откладывают соответствующие отрезки пройденного судном расстояния. Каждой точке на линии пути при дрейфе соответствует определенная вектором течения точка на линии действительного перемещения судна. Путевой угол при дрейфе и течении обозначают ПУ_c.

При ведении прокладки в этом случае также решаются прямая и обратная задачи и используются следующие алгебраические соотношения:

$$\left. \begin{array}{l} \text{ПУ}_c = \text{ИК} + \alpha + \beta = \text{ИК} + c \\ \text{ИК} = \text{ПУ}_c - \alpha - \beta = \text{ПУ}_c - c \\ c = \alpha + \beta = \text{ПУ}_c - \text{ИК} \end{array} \right\} \quad (49)$$

При решении прямой задачи по известным КК, V_t , углу дрейфа α и элементам течения требуется определить линию пути при дрейфе и течении, истинную скорость V и суммарный угол сноса $c = \alpha + \beta$. Для решения этой задачи по формуле (46) вычисляют ПУ _{α} и проводят его линию из начальной точки. Затем в условном масштабе строят треугольник скоростей по известным \bar{V}_l и \bar{V}_t , для чего по линии пути при дрейфе прокладывают величину V_l и из конца его — вектор \bar{V}_t . Соединяют начальную точку с концом вектора течения и получают истинную скорость при дрейфе и течении и искомую линию пути. Суммарный угол сноса (c) вычисляют по формуле (49).

В обратной задаче требуется найти КК, V и суммарный снос c по известным ПУ _{c} , V_l , углу дрейфа α и вектору течения \bar{V}_t . Для решения задачи из начальной точки O по данному ПУ _{c} проводят линию пути (рис. 74) и вектор течения \bar{V}_t в условном масштабе. Из конца вектора течения (точки A) раствором циркуля, равным V_l , в том же масштабе делают засечку на линии пути при дрейфе и течении (точка B) и, соединив тонкой пунктирной линией точки A и B , получают линию пути при дрейфе. Отрезок OB на линии пути соответствует искомой истинной скорости судна V в условном масштабе. Переносят линию AB параллельным перемещением в начальную точку O . Полученная линия OB' представляет линию пути при

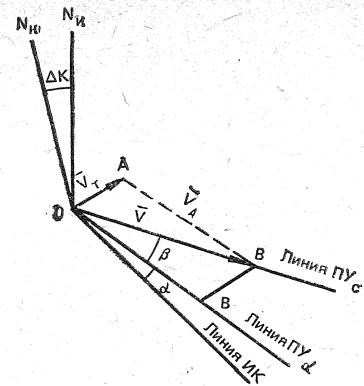


Рис. 74. Графическое решение обратной задачи при учете дрейфа и течения

дрейфе. По известным α и ΔK находят суммарный снос c и КК.

Решая графические задачи, нахождения различных точек при плавании на течении с дрейфом, пройденное по лагу расстояние откладывают по линии пути при дрейфе, а траверз рассчитывают относительно ИК.

Пример. ПУ _{c} = 125,0°; $\Delta K = -3,0^\circ$; $\alpha = -3,0^\circ$. После построения по известным элементам скоростного треугольника получим ПУ _{α} = 130,0°. Определить β , c , ИК, КК (см. рис. 74).

Решение:

$$\begin{array}{r} \text{ПУ}_c = 125,0^\circ \\ - \text{ПУ}_\alpha = 130,0^\circ \\ \hline \beta = -5,0^\circ \\ + \qquad \qquad \qquad \alpha = -3,0^\circ \\ \hline c = 8,0^\circ \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{ПУ}_\alpha = 130,0^\circ \\ - \alpha = -3,0^\circ \\ \hline \text{ИК} = -133,0^\circ \\ \Delta K = -3,0^\circ \\ \hline \text{КК} = 136,0^\circ \end{array}$$

Прокладка пути с учетом возможных ошибок счисления. Исходными данными при ведении прокладки на карте являются путь яхты и пройденное расстояние. Ошибка учета пути яхты ($\pm \varepsilon_p$) складывается из ошибки в знании поправки компаса, ошибки, вызываемой рысканием на курсе и ошибок учета дрейфа и сноса течением. Ошибка учета пройденного расстояния ($\pm \Delta S$) складывается из ошибок знания поправки лага или скоро-

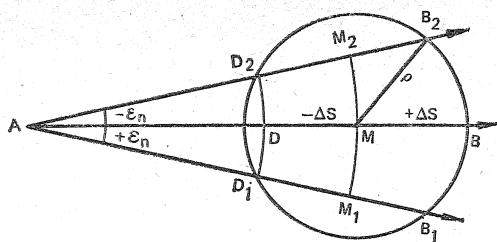


Рис. 75. Точность счисления

сти яхты и ошибок учета дрейфа и течения.

Если при плавании вне видимости берегов возникло сомнение в точности прокладки, находят площадь вероятного местонахождения яхты. Для этого от известной точки А, полученной по данным последнего надежного определения, прокладывают линию ИК или расчетного пути АВ (в зависимости от гидрометеоусловий), от которой в обе стороны проводят крайние линии возможного действительного перемещения яхты АВ₁ и АВ₂ (рис. 75). На линии ИК или расчетного пути откладывают пройденное расстояние за время, прошедшее после последнего надежного определения (точка М), с учетом возможной ошибки в учете скорости или поправки лага (точки Д и В). Аналогично на линиях АВ₁ и АВ₂ получаем точки М₁, М₂ и D₁, B₁, D₂ и B₂.

При наличии одновременных ошибок в пределах $\pm \epsilon_{\pi}$ и $\pm \Delta S$ с достаточной точностью можно считать, что яхта будет находиться именно в площади B₁D₁D₂B₂. Для упрощения расчетов описывают окружность около этой фигуры и получают круг погрешности с радиусом ρ . Из треугольника MM₂B₂ получим:

$$\rho = MB_2 = \sqrt{(MM_2)^2 + (M_2B_2)^2}.$$

Из треугольников АММ₂ и АММ₁ имеем $MM_2 = MM_1 = AM$ $\sin \epsilon_{\pi}^0 = S \cdot \sin \epsilon_{\pi}^0$.

Учитывая малость угла ϵ_{π} можно записать:

$$\sin \epsilon_{\pi}^0 = \epsilon_{\pi}^0 \cdot \arcsin 1^\circ = \frac{\epsilon_{\pi}^0}{57,3^\circ},$$

тогда $MM_2 = MM_1 = S \frac{\epsilon_{\pi}^0}{57,3^\circ}$ или для

приближенных расчетов

$$MM_2 = MM_1 = S \frac{\epsilon_{\pi}^0}{60}.$$

Подставляя значения MM_2 и M_2B_2 в выражение радиуса круга погрешности, получим:

$$\rho = \sqrt{\left(S \frac{\epsilon_{\pi}^0}{60}\right)^2 + \Delta S^2}. \quad (50)$$

Таким образом, при плавании по счислению и отсутствии определений местоположения судна свое место следует считать не в точке М, а внутри круга погрешности с радиусом ρ и прокладывать курсы для дальнейшего плавания из трех точек — М, В₂ и В₁. При подходе к району навигационных опасностей свое место необходимо считать на линии, ближайшей к опасности.

При наличии дрейфа и сноса от течения ошибки счисления заметно возрастают, в связи с чем для обеспечения безопасности плавания необходимо систематически определять свое местоположение в море с помощью всевозможных обсерваций.

6.5. Определение места яхты в море визуальными способами

Сущность обсерваций. Навигационные параметры и линии положения. Учет плавания яхты только методом графического счисления не обеспечивает достаточной точности, а следовательно, и безопасности плавания. Штурман должен систематически определять свое место в море по бере-

ориентиры В, С, место яхты М и вместе с тем угол β .

Для нахождения места по двум углам пользуются калькой: от произвольной точки М на кальке проводят прямую линию и под углами α и β из той же точки М проводят еще две прямые линии. Накладывают кальку на карту и находят положение, при котором каждая из линий прошла бы через свой ориентир. В точке пересечения линий М получают место яхты.

Способ этот невозможно использовать, когда в момент обсервации яхта находится на окружности, проходящей через все три ориентира (случай неопределенности). Тогда из любой точки на окружности (M_1 , M_2 и т. д.) ориентиры А, В и С будут видны соответственно под углами α и β .

Недостаток этого способа — трудоемкость, наличие случаев неопределенности и отсутствие контроля, из-за чего возможны незамеченные промахи.

Определение места яхты по пеленгам трех предметов. Наличие третьей линии положения существенно повышает точность обсервации и выявляет возможные ошибки наблюдений и грубые промахи. Поэтому всегда, когда на берегу имеются три хорошо видимых ориентира, которые нанесены на карте, нужно сделать обсервацию по трем линиям положения.

С этой целью в быстрой последовательности один за другим берут пеленги на выбранные и опознанные ориентиры и записывают время в момент взятия третьего пеленга. Для повышения точности обсервации ориентиры стараются выбрать таким образом, чтобы углы между пеленгами наряду расположенные ориентиры были возможно ближе к 60 или 120° .

Полученные три пеленга (ОКП) исправляют поправкой компаса и проектируют на карте от соответствующих ориентиров. Если наблюдения сделаны правильно и принятая поправка компаса верна, то линии всех

трех пеленгов пересекутся в одной точке.

На практике линии трех пеленгов чаще пересекаются в трех точках, образуя так называемый **треугольник погрешности**. Если стороны этого треугольника малы и не превышают $0,5$ мили, то вероятное место яхты принимают в центре треугольника, считая причиной его возникновения наличие случайных ошибок. Если треугольник мал, но вытянут, то место яхты считают в точке, близкой к его короткой стороне.

Однако возможны случаи образования большого треугольника погрешности со сторонами, значительно превышающими $0,5$ мили. Причиной здесь является чаще всего неточное знание поправки компаса или ошибки в наблюдении, выявляемая повторным наблюдением при выборе новой комбинации ориентиров. Наличие прежнего треугольника после повторного наблюдения свидетельствует об ошибке учета поправки компаса. В этом случае следует изменить поправку компаса на $2-4^\circ$ в сторону, позволяющую уменьшить треугольник погрешности. Исправив пеленги новой поправкой и проложив их на карте, получают новый треугольник погрешности (рис. 78). Если он меньше, чем первоначальный, то измененное значение поправки компаса оказалось ближе к истинному ее значению. В частном случае если стороны нового треугольника менее $0,5$ мили, то обсервованное место считают в центре него, а измененную поправку компаса принимают за уточненную истинную.

В том случае, когда новый треугольник меньше первоначального, но стороны его более $0,5$ мили, повторяют изменение учитываемой поправки компаса, добиваясь надежного пересечения пеленгов в обсервованной точке, либо соединяют сходные вершины полученных двух треугольников прямыми линиями, в пересечении кото-

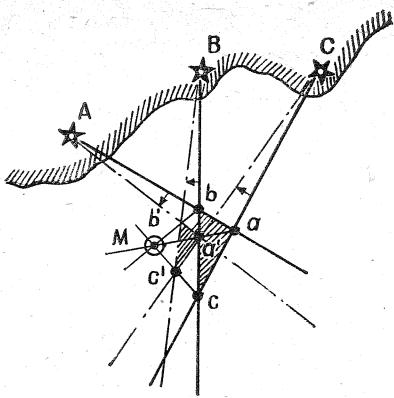


Рис. 78. Треугольник погрешности

рых получают точку M — она и является обсервованным местом яхты.

Уточненное значение ΔK получают усреднением результатов сравнений трех измеренных компасных пеленгов ориентиров с истинными, снятыми с помощью транспортира и линейки от точки M на те же ориентиры.

Указанный способ определения места в судовождении наиболее точный. Он позволяет судить о правильности обсерваций, исключить промах в наблюдениях и систематическую ошибку в ΔK во всех случаях, кроме одного, когда все три пеленгуемых ориентира и место яхты находятся на одной окружности (случай неопределенности). В этом случае рекомендуется повторить определение в другой точке.

Определение места способом крюйс-пеленга. Таким образом определяют место по двум разновременно взятым пеленгам одного имеющегося в видимости ориентира. Для этого берут на него первый пеленг (рис. 79) в момент T_1 и продолжают идти, точно удерживая заданный курс. В отсутствие лага определяют скорость яхты. Когда направление на ориентир изменится на $30-40^\circ$, повторяют его пеленгование в момент T_2 . Для повышения точности второй пеленг следует

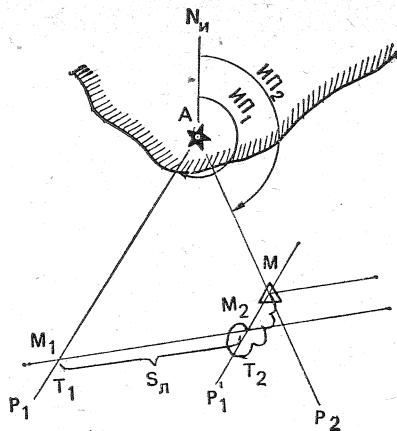


Рис. 79. Определение места по крюйс-пеленгу

брать в момент траверза ориентира или около траверза.

По данным лага или определенной скорости яхты рассчитывают расстояние S_l , пройденное за время $(T_2 - T_1)\Delta T$, и прокладывают на карте пеленги ИП₁ и ИП₂. За время ΔT яхта двигалась заданным курсом K и прошла расстояние S_l . Чтобы получить место яхты в момент T_2 , необходимо вместить отрезок S_l параллельно курсу яхты между линиями первого и второго пеленгов. Это выполняется графическими способами, один из которых показан на рис. 79. От точки M_1 пересечения первого пеленга AP_1 с линией курса откладывается по курсу расстояние S_l до точки M_2 , через которую проводится отрезок прямой, параллельный AP_1 . В пересечении этого отрезка со вторым пеленгом AP_2 находится место яхты. Оно называется счислимо-обсервованным, так как при его получении использовались и данные обсервации (пеленги), и данные счисления (курс или путь и пройденное расстояние). Счислимо-обсервованное место на карте обозначают треугольником с точкой внутри.

Если от первой до второй обсервации яхта проходит в лавировку, весь счислимый путь между пеленгами

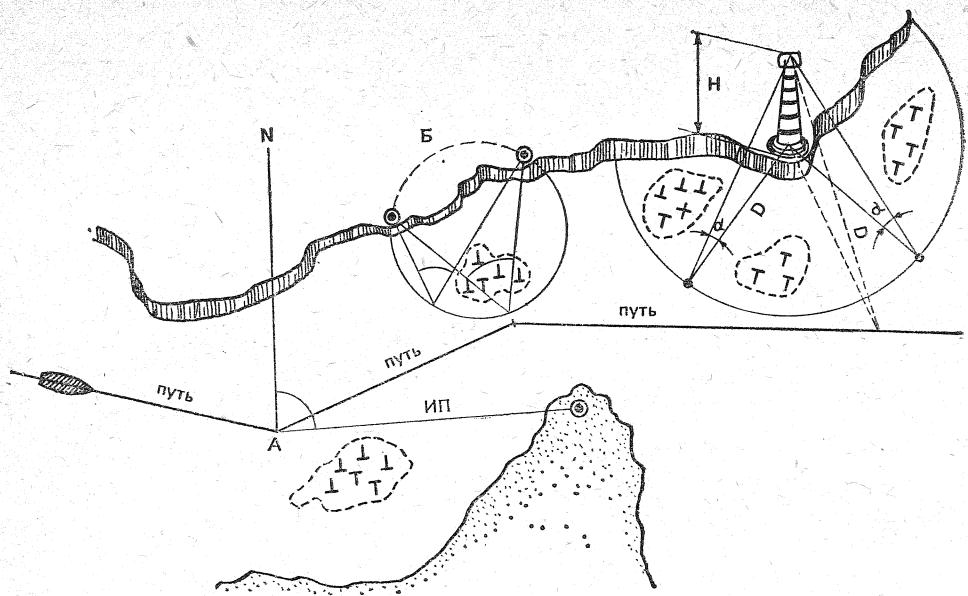


Рис. 86. Ограждающие (опасные) изолинии:
ИП — опасный пеленг, β — горизонтальный угол опасности; опасное расстояние (D) и вертикальный угол опасности (α)

рольными пеленгами, например, при каждом повороте.

Для обеспечения безопасности плавания в узкостях нередко применяют метод ограничительных (опасных) изолиний. Чаще применяют ограничительный пеленг. Для этого от хорошо видимого ориентира проводят на карте линию пеленга, ограничивающую опасность (рис. 86). При проходе мимо этой опасности следят, чтобы пеленги на этот ориентир были больше (меньше) ограждающего пеленга.

6.8. Судовой журнал и его ведение

Судовой журнал — основной документ на яхте в плавании. В нем отражают все навигационные и метеорологические элементы плавания, внешней обстановки и режима. В походах ведут его непрерывно с момента прибытия экипажа на яхту перед выходом и до окончания плавания.

На титульном листе журнала пишут название яхты, яхт-клуб, порт приписки и даты начала и окончания ведения журнала. Следующие несколько листов содержат бланки различных навигационных таблиц и графиков. Среди них: таблицы и график девиации и радиодевиации, таблица определения скорости по базе или способом «голландского лага», поправки лага, таблица значений углов дрейфа.

Записи в судовом журнале делает вахтенный начальник — он ставит в нем свои подписи при приеме и сдаче вахты. Капитан яхты несет ответственность за своевременное и исчерпывающее заполнение всех граф журнала.

С началом плавания на первой странице в верхней строке пишут название пункта отхода, дату и месяц. Затем время снятия с якоря и швартов, цель и маршрут плавания, состав экипажа с указанием должно-

стей, данные о ветре, волнении, видимости и поставленных парусах либо о включении двигателя и эволюциях яхты при выходе из гавани.

Далее на той же правой странице должны идти записи о прохождении фарватеров и траверзов, вех, буев, знаков с указанием их названий, расстояний и борта прохождения знаков (правый, левый), а также следующие сведения:

- курсы относительно ветра и компасного меридиана и их изменение;

- прохождение створов с указанием КП створа и ΔK ;

- способы обсервации с указанием объектов наблюдений, значение измеренных навигационных параметров и поправок приборов, величина и направление невязки, суждение о ней и решение о принятии в расчет полученной обсервации;

- значение отдельных измеренных навигационных параметров на ориентиры и их название;

- работа с парусами (смена, рифление, уборка и т. п.);

- изменение направления и силы ветра, волнения, видимости;

- моменты начала и окончания учета дрейфа с указанием знака и величины угла α ;

- моменты начала и окончания учета сноса от течения с указанием направления и величины вектора течения, а также знака и величины угла β ;

- результаты измерения скорости хода с указанием способа измерения;

- время вхождения в полосу тумана и принятые меры;

- подача туманных сигналов;

- включение ходовых огней;

- судовые работы;

- время и место досмотра яхты кораблями погранвойск;

- случаи несоответствия навигационного ограждения в районе плавания данным карт и пособий;

- касание грунта, посадка на мель и снятие с нее;

- аварии, поломки рангоута, частей корпуса, приборов, случаи разрыва парусов, такелажа и утраты имущества;

- случаи перехода на другую карту с указанием координат точки перехода;

- вход в стесненный район, гавань, канал;

- спуск на воду рабочего тузика и подъем его;

- постановка на якорь, глубина и грунт в районе отдачи якоря, длина вытравленного якорного каната, компасные пеленги на береговые ориентиры и т. д.

Все записи на правой странице журнала привязывают ко времени, а если есть лаг, записи навигационных элементов содержат также отсчеты лага.

Левая страница журнала заполняется в соответствии с ее графами при каждом изменении курса и смене вахты. При плавании в узостях в условиях, требующих непрерывного или частого изменения курса, в графе «Курс» пишут «пер» (переменный). При наличии лага его отсчет пишут в графе 3; если лага нет, пишут скорость в узлах.

Правая и левая страницы связаны между собой по времени, и если одна из них заполнена полностью, то на оставшемся свободном месте другой страницы проставляют «зэт» и следующие записи продолжают на новых страницах.

Во время вахты записи часто ведут в черновом блокноте, а затем к сдаче вахты переносят их в судовой журнал.

По окончании каждого перехода капитан яхты (штурман) записывает на левой странице пройденное за время перехода расстояние по генеральному курсу и фактическое число ходовых часов (с учетом лавировки), среднюю

значается самая яркая звезда того созвездия, название которого указано.

Приступая к самостоятельному изучению звездного неба, определяют по компасу направление на точку севера N (рис. 87). Над точкой N в угловом расстоянии h , равном географической широте места наблюдений фн, расположена звезда Полярная (α Малой Медведицы). Приближенно можно полагать, что с Полярной совпадает точка P_N — Северный полюс мира. Угол между плоскостью горизонта и направлением на наблюдаемое светило называется высотой светила. Высота Полярной приближенно равна географической широте места яхты.

Земная атмосфера наблюдается нами в форме приплюснутого над головой «небесного свода». Это искажает глазомерно измеряемые высоты: наблюдаемая невооруженным глазом высота светила обычно представляется на $15-20^\circ$ больше истинной высоты.

Направление на наблюдаемое светило определяет его истинный пеленг ИП; в астронавигации эту координату часто называют круговым азимутом и обозначают A_k . При вычислениях удобно измерять азимут «вполкруга»: в северной широте — от точки севера N по горизонту, в направлении точек востока или запада, в пределах $0-180^\circ$. Полукруговой азимут обозначают A_{π} и записывают в форме, например, $A_{\pi}=N68^\circ O^{st}$. Если компас не имеет пеленгатора, то ИП светила можно найти, заметив в один и тот же момент курсовой угол светила и курс яхты: $IIP=IK \pm KU$ (знак ставится в зависимости от наименования борта: (—) соответствует левому борту). ИП Полярной близок к 0° , поэтому ИК приближенно равен КУ Полярной. На рис. 87 звезда Кастор (α Близнецов) видна по направлению $IIP^*=68^\circ$ на высоте $h^*=25^\circ$, если наблюдения ведутся на широте $\phi \approx 44^\circ N$ (Севастополь, Владивосток).

Высота и азимут (горизонтальные координаты) вполне определяют положение видимого места светила, поскольку их отсчитывают от горизонта (высота), либо измеряют по горизонту (азимут). Высоту можно измерить с помощью секстанта или астролябии, круговой азимут — с помощью компаса и пеленгатора.

Опознав Полярную, легко найти созвездие Большой Медведицы (Большой Ковш) и «девичью грудь» Кассиопеи — оба эти созвездия расположены на небосводе в угловом удалении $30-40^\circ$ по обе стороны от Полярной; при наблюдениях на наших морях они всегда расположены над горизонтом. Большую Медведицу легко запомнить и быстро отыскать на небе, относительно нее просто опознать другие созвездия и навигационные звезды:

- по направлению от β на α Большой Медведицы (и в удалении, равном пяти расстояниям $\beta-\alpha$) находится Полярная и «Малый Ковш» созвездия Малой Медведицы;

- по направлению γ Б. М.—Полярная и на таком же расстоянии от Полярной находится Кассиопея;

- по направлению $\gamma-\delta$ Б. М. видны созвездия Лиды и Лебедя, входящие вместе с созвездием Орла в «летний треугольник»;

- по направлению $\delta-\alpha$ Б. М. виден Водолей.

Для изучения других созвездий служит карта звездного неба, прилагаемая к МАЕ и помещенная на форзаце книги.

На рис. 88 изображен земной шар и показано географическое место яхты M , имеющее координаты фн и λo^{st} . Затем произвольным радиусом из центра Земли описана вспомогательная небесная сфера, и на ней показано видимое место светила σ' как точка пересечения поверхности сферы и пришедшего от очень удаленного светила луча света; аналогичная точка на поверхности

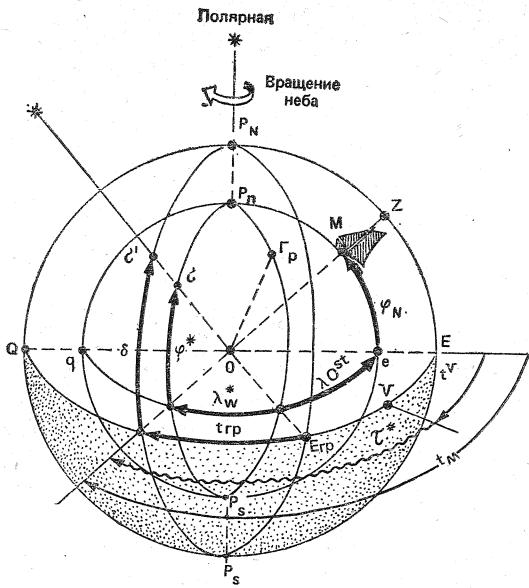


Рис. 88. Географические и экваториальные координаты, определяющие положение географических и видимых мест светил

Земли называется **географическим местом светила** (или ГМС).

Если через географическое место светила σ провести меридиан $P_N\sigma P_s$, а через видимое место светила провести аналогичный небесный меридиан $P_N\sigma'P_s$, то нетрудно определить положение географического и видимого места светила в географической системе координат:

— широте ГМС φ^* на сфере соответствует дуга меридиана δ , в астронавигации ее называют **склонением светила**; склонение измеряют так же, как и географическую широту; при плавании в северном полушарии северное склонение считается положительной величиной, а южное — отрицательной;

— долготе ГМС λ^* на сфере соответствует дуга экватора $E_{\text{гр}}E^* = t_{\text{гр}}$, в астронавигации ее называют **гринвичским часовым углом светила** и измеряют аналогично географической долготе или же в круговом счете — от не-

бесного гринвичского меридиана по экватору всегда в сторону запада от 0 до 360° .

Положение меридиана видимого места светила на небесной сфере можно определить не только от гринвичского меридиана. Из рис. 88 видно, что дуга экватора от местного небесного меридиана до меридиана видимого места светила измеряет **местный часовой угол** t_m (его отсчитывают аналогично гринвичскому, но за начало отсчета принята точка E экватора на полуденной части P_NEP_s местного меридиана). Местный часовой угол отличается от гринвичского на величину долготы места яхты:

$$t_m^W = t_{\text{гр}}^W \pm \lambda_w^{ost}, \quad (56)$$

где восточная долгота прибавляется к $t_{\text{гр}}^W$ кругового счета, а западная — вычитается.

Часовой угол светила можно также отсчитать круговым счетом от той точки экватора, в которой Солнце расположено на небосводе в день наступления весны — 21 марта. Эта точка называется **точкой весны** (точкой Овна) и обозначается Υ . Отсчитанный от точки Овна часовой угол называется **звездным углом** (в МАЕ он назван **звездным дополнением**) и обозначается τ^* .

Величина $360^\circ - \tau^* = a$ называется **прямым восхождением** и отсчитывается противоположно звездному углу. Прямые восхождения получают из МАЕ для указания видимых мест планет, Луны и Солнца.

Координаты δ , $t_{\text{гр}}$, t_m , τ^* , a вполне определяют положение на небесной сфере и на звездной карте небесной параллели светила (склонение) и небесного меридиана светила (одна из величин: $t_{\text{гр}}$, t_m , или τ^* , a). Эти координаты называют **экваториальными**, на яхте их вычисляют по МАЕ или другому пособию на момент наблюдений светила.

четверти (старая Луна), она восходит около полуночи, в первую половину дня вместе с Солнцем видна над горизонтом и заходит около полудня. Спустя неделю начнется новый период смены фаз Луны.

В плавании Луну наблюдают и днем, и ночью. Ее место на звездной карте отмечают непосредственно на намеченный срок наблюдений (по α и δ , указанным в Астрономическом календаре или МАЕ, при этом в МАЕ приходится находить $\alpha^D = t_{\text{gp}}^D - t_{\text{gp}}^H$). Лунная освещенность в значительной степени зависит от фазы Луны и ее высоты над горизонтом; последняя же в течение месяца изменяется вследствие быстрого и большого изменения склонения Луны.

Описанная картина верна для наблюдений в $\phi > 23,5^\circ N$.

7.2. Ориентирование во времени

Время на яхте необходимо знать с различной точностью. Если для ведения навигационной прокладки требуется знать время с погрешностью не более минуты, то для астронавигационного определения долготы места яхты нужно знать его с погрешностью до 1 секунды, так как здесь ошибка во времени равна ошибке в найденной долготе ($4^m = 1^\circ$, $1^m = 15'$, $4^c = 1'$ и т. д.).

Часы на яхте в автономном плавании могут быть установлены по разнообразным системам счета времени. Решение об этом принимает капитан — он должен позаботиться о том, чтобы время на яхте измерялось непрерывно и достаточно точно. Кроме того, при заходе в порты счет времени должен быть согласован со счетом времени, принятым в пункте захода. Потеря информации о времени при плавании в открытом море считается чрезвычайным происшествием, чреватым угрозой безопасности плавания.

Системы измерения времени. Принятые в различных странах системы измерения времени можно узнать по карте часовых поясов (карта № 90 080, издания ГУНиО МО СССР; такого же назначения карты публикуются в географических и морских атласах). Часть карты часовых поясов для европейских государств, а также для европейских и дальневосточных районов Советского Союза приведена на рис. 90. Здесь показано стандартное время, система счета которого определена постановлением (декретом) правительства данной страны и является обязательной на всей ее территории. В большинстве стран в основе стандартного времени (обозначается T_c) лежит система счета по часовым поясам.

Повседневная жизнь организована по движению Солнца, и наши часы показывают солнечное время, следят за видимым суточным движением Солнца (рис. 91). Солнечное время измеряют от полуночи — с момента прохождения Солнцем полуночной части местного меридiana $P_N Q P_S$ наблюдателя M ; оно называется меридианным, или местным, солнечным временем (обозначается T_m^S). Часовые углы Солнца измеряют от полуденной точки E экватора, поэтому до полудня местное солнечное время равно $T_m^S = 12^\circ - t_{0^{\text{st}}}^S$ и после полудня $T_m^S = 12^\circ + t_{W}^S$. Если с помощью компаса определить положение полуденной линии $S-N$ на местности, затем глазомерно оценить положение точки E на небесном меридиане (по величине угла $90^\circ - \phi$) и положение небесного экватора ($O^{st}EW$), а после этого — величину наблюдаемого восточного или западного часового угла Солнца, то по показанным формулам получим приближенную ориентировку во времени текущих суток.

Сутки — это длительность одного оборота Земли вокруг своей оси, измеренная относительно направления на

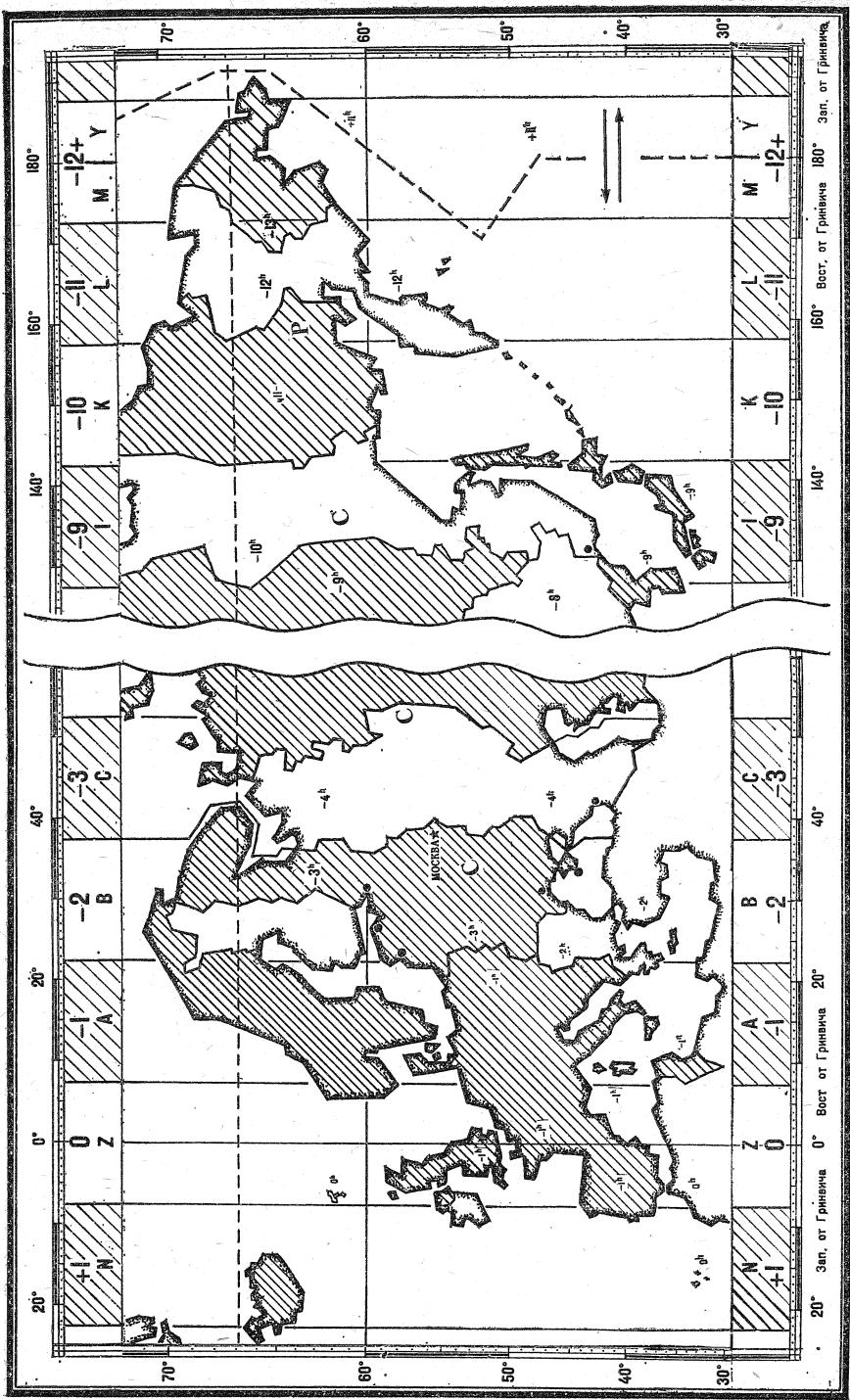


Рис. 90. Зимнее стандартное время на территории СССР. Знаки у номеров часовых поясов даны для перехода ко всемирному времени

масс под теплые, которые выжимаются вверх. В результате адиабатического охлаждения в них образуются кучево-дождевые облака, сопровождающиеся ливнями и грозами. Холодный фронт с ливневыми облаками наступает «стеной». Впереди, в качестве предвестников фронта, быстро движутся перисто-кучевые облака; ниже, в среднем ярусе, продвигаются «обточенные» ветром высококучевые чечевицеобразные.

Давление непосредственно перед фронтом сильно и неравномерно падает, судно попадает в зону ливней, гроз, шквалов и сильного волнения.

Холодный фронт первого рода движется медленнее по сравнению с холодным фронтом второго рода.

Клин холодного воздуха как бы подсекает теплые массы, вынуждая их подниматься вверх, что приводит к образованию облачной системы. Все процессы выражены не так бурно, как у холодного фронта второго рода. За линией фронта имеется пелена слоисто-дождевых и высокослоистых облаков, из которых выпадают обложные осадки (рис. 122).

В результате слияния теплого и холодного фронтов возникает сложный фронт — **фронт окклюзии**. Скорость перемещения холодного фронта больше, чем теплого. Поэтому при слиянии фронтов теплый воздух вытесняется вверх, образуя верхний фронт.

В зависимости от соотношения температур характер фронта окклюзии может быть:

нейтрального типа, когда вытесненные теплые массы и облачные системы фронтов располагаются по фронтальным поверхностям, а температуры холодных масс, догоняющей и уходящей, одинаковы. При этом осадки постепенно ослабевают и прекращаются;

теплого типа, когда температура массы наступающего холодного фронта выше температуры лежащей впе-

реди массы. Поэтому более теплая наступающая масса начинает «скользить» вперед и вверх по поверхности раздела теплого фронта;

холодного типа, когда температура наступающего холодного фронта более низкая. Холодные массы начинают как бы подсекать более теплые и заставляют их восходить вдоль поверхности раздела холодного фронта.

Погода окклюдированного фронта теплого типа сходна с погодой главных тепловых фронтов, а холодного типа — с погодой холодных фронтов.

Циклоны и антициклоны. Циклон и антициклон мы рассматривали как барические области низкого и высокого давления. Эти же области несут также и одну из форм циркуляции атмосферы — вихреобразные воздушные возмущения. В циклонах северного полушария эти вихри движутся по спирали против часовой стрелки, в южном — по часовой, но всегда направлены к центру циклона. Скорость ветра при этом всегда высокая. Так, в циклонах умеренных широт она достигает 20—30 м/с, т. е. штормовой и ураганной силы, а в тропических циклонах нередко превышает 60—70 м/с.

Погода в циклонах, особенно на линии теплого фронта, всегда пасмурная, облачная и прохладная, летом — дождливая, а зимой — снежная с оттепелями. В теплом секторе молодого циклона облачности и осадков нет, но над морем может быть и пасмурно.

Развитие циклона проходит несколько стадий: волны, молодого циклона, окклюдированного циклона и заполненного циклона. На рис. 123 показана схема окклюдированного циклона северного полушария.

В отличие от циклонов в антициклонах спиральные вихревые возмущения направлены от центра антициклона. Ветровые потоки в северном полушарии дуют по часовой стрелке, в южном — против часовой стрелки.

Погода в антициклоне обусловлена

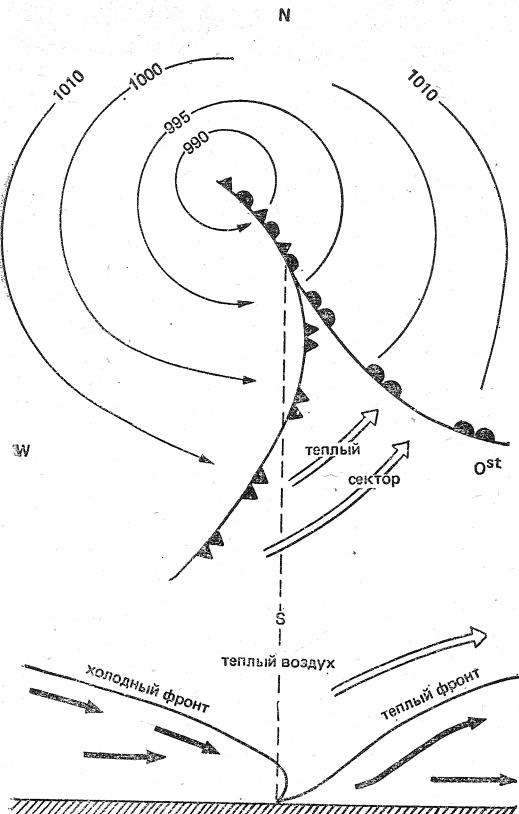


Рис. 123. Схема окклюдированного циклона

оседанием воздушных масс, их адиабатическим сжатием и как следствие повышением температуры воздуха. Поэтому летом она спокойная, характерна штилями и слабыми ветрами, малооблачностью и безоблачностью, с резким суточным ходом метеоэлементов. Зимой погода ясная и морозная.

Карты погоды (синоптические карты) составляют по наблюдениям метеорологических станций в установленное (стандартное) время.

Для основных (приземных) синоптических карт результаты наблюдений снимают в 0, 6, 8 и 18 часов по Гринвичу. Раскодированную радиоинформацию, полученную от берего-

вых или судовых метеостанций, по определенной схеме условными знаками наносят на специальную карту.

Для яхтенного капитана, обычно не имеющего избытка информации о погоде, очень важно уметь определять ожидающую погоду по местным признакам.

8.6. Прогноз погоды по местным признакам *

1. Ухудшение погоды (приближение циклона с теплым фронтом: приближение ненастной погоды, влажной, с осадками, свежим ветром через 6—12 ч):

- Атмосферное давление постепенно понижается при отсутствии суточного хода.

- Нарушается суточный ход температуры воздуха, влажности и ветра.

- Появляются быстро движущиеся от горизонта к зениту перистые когтевидные облака, которые постепенно сменяются перисто-слоистыми, переходящими в более плотный слой высокослоистых облаков.

- Перистые и перисто-слоистые облака движутся вправо от направления наземного ветра.

- Повышенная видимость, увеличение рефракции — появление предметов из-за горизонта.

- Усиление волнения, зыбь и волна начинают идти не по ветру.

- Повышенная слышимость в воздухе.

- Появление «гало» и венцов малых размеров.

- Сильное мерцание звезд ночью.

- Утренняя заря ярко-красной окраски.

- Ночью и утром нет росы.

- Движение облаков нижнего и верхнего ярусов в разных направлениях.

* См. Справочник штурмана. Колл. авторов. М., Воениздат, 1968.

- Появляются ложные солнца, миражи и т. п.
- Вечером солнце заходит в сгущающиеся плотные облака.
- 2. Ухудшение погоды (приближение холодного фронта, грозы и шторма за 1—2 ч до его начала).
 - Резкое падение атмосферного давления.
 - Появление перисто-кучевых облаков.
 - Появление плотных разорванных перистых облаков.
 - Появление высококучевых, башеннообразных и чечевицеобразных облаков.
 - Неустойчивость ветра.
 - Появление сильных помех в радиоприеме.
 - Появление в море характерного шума со стороны приближения грозы или шквала.
 - Резкое развитие кучево-дождевой облачности.
- 3. Сохраняется плохая погода (пасмурная с осадками, сильным ветром, плохой видимостью) на ближайшие 6 или более часов.
 - Низкое или понижающееся атмосферное давление не имеет суточного хода.
 - Характер облачности (слоисто-дождевые, кучево-дождевые облака) не меняется.
 - Температура воздуха летом пониженная, зимой повышенная, не имеет суточного хода.
 - Ветер свежий, не меняет своей силы, характера и мало меняет направление.
- 4. Улучшение погоды (после прохождения теплого фронта или фронта окклюзии можно ожидать прекращения осадков и ослабления ветра в ближайшие 4 ч).
 - Падение давления прекращается, барометрическая тенденция становится положительной.
 - Появление просветов в облаках. Высота облаков увеличивается. Слоисто-дождевые облака сменяются слоисто-кучевыми и слоистыми.
 - Ветер поворачивает вправо и ослабевает.
 - Волнение моря начинает успокаиваться.
 - Местами на море появляется туман (при температуре воды ниже температуры воздуха).
 - 5. Улучшение погоды (после прохождения холодного фронта второго рода можно ожидать прекращения осадков, изменения направления ветра и прояснения через 2—4 ч).
 - Резкий рост атмосферного давления.
 - Резкий поворот ветра вправо.
 - Резкое изменение характера облачности, увеличение просветов.
 - Резкое увеличение видимости.
 - Понижение температуры.
 - Ослабление помех в радиоприеме.
 - 6. Сохраняется хорошая антициклоническая погода (с тихим ветром или штилем, ясным небом или небольшой облачностью и хорошей видимостью) в течение ближайших 12 ч:
 - Высокое атмосферное давление имеет суточный ход.
 - Температура воздуха с утра низкая, к 15 ч повышается, а к ночи понижается.
 - Ветер к ночи или к рассвету затихает, к 14 ч усиливается; до полудня поворачивает по солнцу, после полудня — против солнца.
 - В прибрежной полосе наблюдаются правильно сменяющиеся утренние и вечерние бризы.
 - Появление по утрам отдельных перистых облаков, исчезающих к полудню.
 - Ночью и утром роса на палубе и других предметах.
 - Золотистые и розовые оттенки зари, серебристое сияние на небе.
 - Сухая мгла у горизонта.
 - Образование наземного тумана по ночам и утрам и исчезновение после восхода солнца.

— Солнце опускается на чистый горизонт.

7. Характер погоды сохраняется на ближайшее время.

— Повторение в сроки наблюдений метеоэлементов прошедшего дня.

— Вид облачности, видимость, характер осадков, цвет неба, окраска зари, слышимость радиоприема, состояние моря, тип и характер волнения, оптические явления в атмосфере похожи на такие же признаки прошедшего дня.

В заключение уместно вспомнить некоторые мнемонические морские поговорки, которые облегчали морякам борьбу с морской стихией в давние времена, когда каждый капитан «был сам себе бюро погоды».

Ходят чайки по песку
Моряку суют тоску.
И пока не сядут в воду,
Штормовую жди погоду.

*

Если тучи громоздятся
В виде башен или скал,
Скоро ливнем разразятся,
Налетит жестокий шквал.

*

Барашки по небу бегут,
Иль небо метлами метут,
Когда рангоут твой высок,
Оставь лишь марсели да фок!

*

Если сгрудятся тучи
и быстро летят,
Скоро все счасти твои
затрешат.
Если на ключья начнут
они рваться —
Ставь брамселя:
их не стоит бояться!

*

Дезет стрелка вверх упорно,
Не желая отдохнуть,
Можешь ждать тогда бесспорно,
Что от ОСТА будет дуть! *

* Для северного полушария.

*

При низком барометре — первый подъем,
Шквалов здоровых, бесспорно, мы ждем.

*

Вечером небо коль полно огня,
Утром же зорю туман застилает
Верные признаки ясного дня,
Старый моряк парусов прибавляет.

*

Если стрелка
вдруг упала,
Жди грозы, дождя
иль шквала;
Если ж стрелка
поднимается,
То погода улучшается.

*

Дождик раньше, ветер вслед —
Жди от шквала всяких бед!
После ветра дождь придет —
Значит, скоро шквал пройдет.

*

Птицы коль к берегу
держат свой путь —
Ветер здоровый, поверь,
будет дуть!

*

Скачет стрелка вверх и вниз
То погоды лишь каприз
Если ж медленно движенье —
Жди надолго измененья.

*

Если солнце село в воду —
Жди хорошую погоду,
А когда сядится в тучу —
Берегись, получишь бучу!

Разумеется, местные признаки погоды помогают яхтенному капитану, если он хорошо изучил природу и физическую сущность атмосферных явлений и процессов.

8.7. Элементы океанологии

В спортивном мореплавании наибольший интерес представляет дина-

мика моря — его волнение, морские течения, приливы и отливы.

Волнение. Морские волны вызываются колебательными движениями частиц воды под действием какой-либо внешней силы — ветра, прилива, подводного землетрясения (циунами), изменения атмосферного давления (барические волны, или сейши), движения судна. Чаще всего плавающее судно испытывает действие ветрового волнения и в приливных зонах — приливной и отливной волны.

Любая волна имеет следующие элементы (рис. 124):

гребень — часть волны, расположенная выше спокойного уровня;

вершина — наивысшая точка гребня;

ложбина — часть волны, расположенная ниже спокойного уровня;

подошва — наивысшая точка ложбины волны.

Кроме того, каждую конкретную волну характеризуют элементы, имеющие численное выражение:

высота (h) — расстояние по вертикали от подошвы до вершины волны;

длина (λ) — горизонтальное расстояние между вершинами двух смежных гребней;

крутизна — отношение высоты волны к ее длине ($k = \frac{h}{\lambda}$);

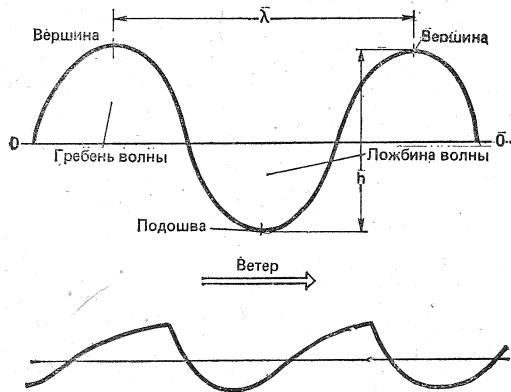


Рис. 124. Элементы волны и форма ветровой волны

период (τ) — промежуток времени, за который волна проходит свою длину;

скорость распространения (c) — расстояние, проходимое вершиной волны в единицу времени;

направление распространения (N°) — угол, отсчитываемый по картишке компаса от N (или истинный румб, откуда движутся волны).

Линия, проходящая вдоль гребня данной волны, называется фронтом, а линия, перпендикулярная фронту — волновым лучом.

Ветровое волнение — результат непосредственного действия ветра на воду в данном месте в данный момент. Ветер изменяет форму волны, которая отличается тем, что подветренная ее сторона значительно круче наветренной (см. рис. 124). Под действием ветра начинается поверхностное движение воды под ветер, гребень волны опережает нижележащие частицы воды и рассыпается, образуя пенистые барашки.

Крутизна волны зависит от глубины места: чем меньше глубина, тем круче волны, тем быстрее они разрушаются, образуя прибои (у берега) и буруны (на мелководье или на рифах), предупреждая тем самым об опасности.

Высота волны зависит от силы ветра: океанская штормовая волна достигает 8 м, а ураганная — 15—20 м при длине до 400 м (на внутренних морях — 5 м при длине 20—40 м). Однако в силу вязкости воды высота волны имеет предел, после которого она не увеличивается, какой бы силы ни дул ветер.

На водохранилищах при сильных ветрах волны имеют большую крутизну при высоте 2 м и более.

Волнение успокаивается, если на поверхности воды находятся водоросли, битый лед или «сало», а также при сильном дожде.

Направления волнения и ветра обычно совпадают, но в некоторых

случаях они могут и разниться до четырех румбов.

Волнение, которое по инерции возникает после прекращения ветра, называется **зыби**. В этом случае волны приобретают правильную симметричную форму и отличаются большой длиной с очень малой крутизной. Зыбь в штилевую погоду называется **мертвой зыби**. Обычно она может служить признаком надвигающегося шторма или сильного ветра, проходящего стороной.

При встрече волн разных направлений (например, зыби и волны от ветра другого направления) или отражении волн от стен гидroteхнических сооружений (волноломов, пирсов и т. д.) возникает **толчей** — беспорядочные стоячие волны. На толчее в сильный ветер малыми судами, особенно тихоходными, управлять плохо, и это надо иметь в виду при подходе к стенке.

Влияние волнения, особенно штормового, однозначно: оно не только нарушает нормальный ритм жизни и работы, но в ряде случаев представляет прямую опасность. Штормовая качка приводит к перенапряжению всех связей корпуса, особенно деревянного, рангоута и такелажа. Яхта, попавшая в шторм на мелководье, рискует на большой волне потерять фальшкиль. Поэтому никакие меры безопасности в штормовых условиях никогда не будут чрезмерными.

Морские течения. Морское течение — поступательное перемещение больших масс воды — представляет практическое значение в мореплавании. Обладая направлением и скоростью, оно оказывает прямое воздействие на направление движения и скорость судна. В этом смысле важную роль играют ветровые (дрейфовые), поверхностные и приливо-отливные течения.

Ветровые течения могут быть постоянными в районах господствующих

ветров, чьи скорость и направление меняются мало, и временными (непериодическими), возникающими при кратковременном действии ветра. Скорость ветрового течения зависит от силы ветра: 0,5—0,7 (ветер около 5—6 баллов) — 1,0 уз (в шторм).

Поверхностные (навигационные) течения наблюдаются на глубинах до 15 м от уровня моря, но могут распространяться и глубже. Они также бывают постоянными (в океанах — Гольфстрим, Куросиво) и временными. Скорости постоянных течений различны. Они указываются на навигационных картах и в Лоциях (рис. 125).

В плавании все течения учитываются навигационными способами.

Приливы и отливы — периодические колебания водных масс — заключаются в постепенном повышении уровня воды до наивысшего и затем постепенным их понижением до самого низкого (рис. 126). Максимальный уровень воды называется **полной водой**, минимальный, после отлива, — **малой водой**. Разность между этими

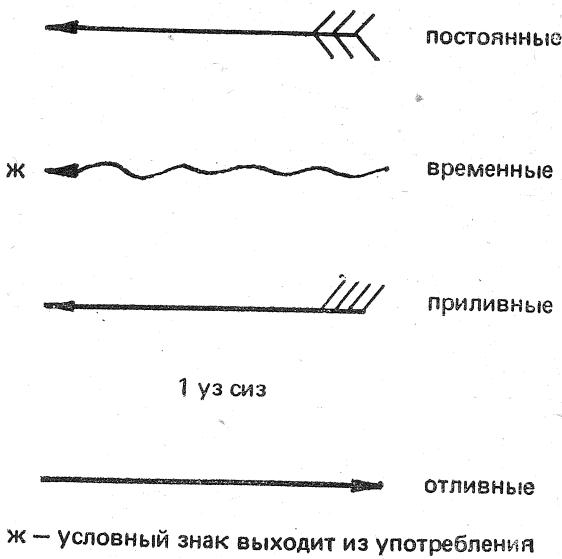


Рис. 125. Условные знаки течения на карте

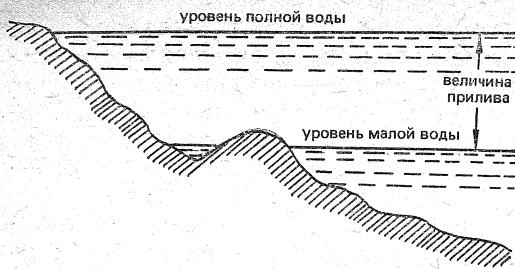


Рис. 126. Уровни и величина прилива

уровнями в одном периоде называют величиной прилива.

Это явление возникает под влиянием приливообразующих сил, чья природа лежит во взаимном притяжении Земли, Луны и Солнца. Они влияют на подвижную водную оболочку нашей планеты. В значительной степени на приливы влияет притяжение Луны, расположенной намного ближе к Земле, чем Солнце. Поэтому сила лунных приливов больше чем в 2 раза силы солнечных. И хотя эти приливы независимы друг от друга, но, складываясь, они образуют единый лунно-солнечный прилив.

При вращении вокруг Земли Луна

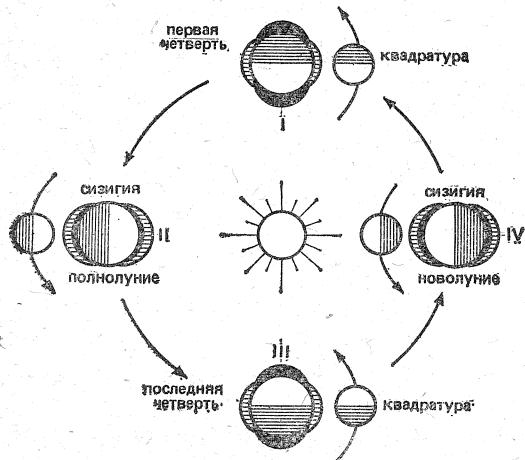


Рис. 127. Фазовое неравенство приливов

в течение лунного месяца последовательно проходит через четыре фазы (рис. 127). На рисунке видно, что при полнолунии и новолунии приливообразующие силы совпадают и вызывают максимальные (сизигийные) приливы. Когда же Луна находится в первой или последней четверти, приливообразующие силы делятся и возникают минимальные (квадратурные) приливы. Такое неравенство приливов называют фазовым, или полумесечным. Период изменений приливов равен 14,6 суток.

Различают три формы приливов: **суточные**, имеющие в период лунных суток (24 ч 50 м) одну полную воду и одну малую; **полусуточные**, у которых за это же время сменяются две полные воды и две малые; **смешанные** — с переменой в течение половины лунного месяца периодов с полусуточных на суточный, и наоборот.

Наибольшие величины приливов наблюдаются в Атлантическом океане — 18 м (о. Фанди), 11—12 м (у побережья Англии). В Тихом океане они меньше — 7—8 м (у Аляски) и 13 м (в Охотском море).

Основным пособием по приливам для мореплавателя являются «Таблицы приливов». Они бывают постоянные и ежегодные. Постоянные «Таблицы» состоят из трех книг: «Воды Европейской части СССР и прилегающих к ним зарубежных районов», «Воды Азиатской части СССР» и «Зарубежные воды». В ежегодных «Таблицах» зарубежные воды представлены двумя книгами: «Атлантический, Индийский и Северный Ледовитый океан» и «Тихий океан».

С помощью этих «Таблиц» можно вычислить:

- высоты и моменты полных и малых вод в основных портах на заданные сутки;

- высоты уровня моря в основном порту на любой заданный момент между полной и малой водой;

— время, когда прилив достигает заданной величины.

При пользовании «Таблицами приливов» следует внимательно ознакомиться с оглавлением книги и пояснениями к ней.

Приливам всегда сопутствуют **приливо-отливные течения** — периодические поступательно-возвратные движения водных масс, которые зависят в основном от характера прилива.

Скорости приливо-отливных течений в разных бассейнах не одинаковы и

могут быть от 1—5 (в Белом море) до 0,1—8 уз и более (в Тихом океане).

Кроме того, приливы активно участвуют в изменении уровня воды. Это явление сложное и вызывается также сгонно-нагонными ветровыми течениями (классический пример — подобные течения в Финском заливе) и силами гравитации, стремящимися привести частицы воды в состояние покоя. При плавании крейсерских яхт с большой осадкой необходимо учитывать эти колебания.

Глава 9

МОРСКАЯ ПРАКТИКА В ДАЛЬНЕМ ПЛАВАНИИ

Яхтенный капитан должен твердо знать, что море ошибок не прощает, и обязан постоянно совершенствовать свое мастерство, с каждым плаванием обогащать личный опыт моряка-спортсмена. Руководствуясь правилами «хорошей морской практики», яхтенному капитану следует не только тщательно и всесторонне готовить свое судно и экипаж к предстоящему плаванию, но и во всех сомнительных случаях, будь то метеоусловия или навигационная обстановка, всегда считать себя «ближе к опасности». Такой разумный и учитывающий все обстоятельства подход обеспечит безопасность плавания.

9.1. Управление крейсерско-гоночными яхтами в штормовую погоду

Капитан яхты, застигнутый в море штормом, прежде всего должен решить вопрос о целесообразности продолжения плавания. Если район плавания изобилует навигационными опасностями, то необходимо укрыться в ближайшем порту-убежище, гавани или на закрытом рейде, особенно при плохой видимости. Но если опасностей по курсу нет, плавание лучше продолжать, так как риск захода в

порт больше, особенно если он незнаком.

В шторм курс яхты следует прокладывать дальше от берега, чтобы не попасть на прибойную волну и иметь под ветром место для вынужденного дрейфа в случае аварии или при смене парусов. Во время сильного шторма не следует без особой необходимости делать повороты как через фордевинд, так и оверштаг. При неумелых или неудачных поворотах в первом случае можно порвать парус, сломать гик и мачту, а во втором — порвать задние шкаторины парусов. Если же есть необходимость в повороте через фордевинд, то следует разогнать яхту на курсе бакштаг на подветренном склоне волны, быстро добрать гика-шкот втугую и повернуть на вершине пологой волны, выждав момент ослабления ветра. Во время поворота не рекомендуется отдавать наветренный бакштаг, пока не будет заложен подветренный. Иначе его не удастся «набить» после поворота.

Поворот оверштаг в шторм нужно делать очень быстро на вершине пологой волны, не имеющей гребня. Перед поворотом и после него необходимо немножко увалиться с целью быст-