ПЕТар 99-102

K. Reinke, L. Lütjen, J. Muhs

# Yacht bau

Schiffbau, Ausrüstung und Einrichtung,
Maschinenbau, Elektrotechnik

Verlag Delius, Klasing + Co Bielefeld

К. Рейнке, Л. Лютьен, И. Мус

# Постройка яхт

*Перевод с немецкого Е. Я. Кулаковой*

ЛЕНИНГРАД
„СУДОСТРОЕНИЕ"
1982

Рецензент инж. В. М. Борисов
Научный редактор инж. С. Н. Ляпидов

Рейнке К., Лютьен Л., Мус И.
Р31 Постройка яхт: Пер. с нем. — Л.: Судостроение, 1982 — 368 с.
ИСБН

Книга Рейнке, Лютьена и Муса «Постройка яхт», вышедшая в свет в западногерманском издательстве «Делиус, Класинг и Ко» в 1976 г., по праву считается своеобразной энциклопедией по конструированию и постройке яхт для дальних спортивных плаваний и морских гонок. Популярно и в сжатой форме авторы освещают обширный круг вопросов, которые приходится решать конструктору и работникам судоверфи при постройке яхт: выбор типа и обводов корпуса, материал и конструкция корпуса, технология постройки, оборудование судна, оснащение его такелажем и парусами, монтаж двигателя и электрооборудования и т. п.

Книга рассчитана на широкий круг читателей: специалистов, занятых проектированием и постройкой крейсерских и крейсерско-гоночных яхт, яхтсменов, судостроителей-любителей, а также может быть полезна студентам кораблестроительных специальностей, интересующимся малотоннажным судостроением.

Р $\frac{3605030000\text{-}007}{048(01)\text{—}82}$ 52—81 39.425.5

© Copyright by Delius, Klasing + Co Bielefeld, 1976
© Перевод на русский яз., Издательство «Судостроение», 1982 г.

# ОТ АВТОРА

Проектирование и постройка яхт за последние годы претерпели значительные изменения. Изменились не только строительные материалы и методы постройки, но главным образом парусное вооружение, конструкции двигателей и электротехническое оборудование. Для постройки яхт из традиционных материалов — дерева, стали и алюминия — разработаны интересные и рациональные технологические методы. Даже такой необычный судостроительный материал, как армоцемент, нашел сторонников среди любителей, строящих яхты самостоятельно.

Чтобы создать достаточно убедительную с профессиональной точки зрения книгу о современной постройке яхт, автор обратился к специалистам ряда смежных областей (по электротехнике, машиностроению, оснастке и т. п.). Над разделами, посвященными установке двигателей и электрооборудованию, работали соавторы Лотар Лютьен и Иоахим Мус. По вопросам других сугубо специальных областей судостроения были привлечены признанные авторитеты. В данном случае автор следовал испытанной практике современного яхтостроения, при которой наилучший результат достигается работой группы специалистов, координируемой руководителем проекта.

Чтобы не расширять рамки книги, в которой должны рассматриваться различные и обширные области судостроения, автор сознательно сократил объем специальных знаний и старался избежать большого количества формул, отличающих книги, издаваемые для специалистов. Предполагается, что читатель обладает минимальными знаниями в области современной техники.

Профессиональные методы постройки яхт, требующие затрат, рассмотрены в книге лишь информативно, а упрощенные методы описаны достаточно подробно с привлечением сведений о применяемых материалах и их обработке.

Эту книгу нельзя рассматривать как руководство исключительно для строителей яхт. В ней приведены сведения не только о методах постройки, устройстве и оснащении яхт, но и о конструктивных взаимосвязях, а также о технической подготовке к постройке и взаимоотношениях конструктора и верфи.

*Курт Рейнке*

# ГЛАВА I. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА

## 1.1. ВЫБОР МАТЕРИАЛА КОРПУСА И СПОСОБА ПОСТРОЙКИ

В яхтостроении предпочтение отдается конструкции, реализация которой будет материально оправданной, хотя экономическая сторона не всегда стоит на первом плане. Например, при индивидуальной постройке яхты по оригинальному проекту вследствие высоких расходов на изготовление оснастки — матриц и пуансонов — нецелесообразно применять искусственные материалы и конструкции с клееной (формованной) обшивкой из древесины. В данном случае лучше строить судно из дерева с диагональной обшивкой. Изготовление необходимых для этого способа постройки шаблонов поперечных сечений не требует больших затрат.

При серийной постройке яхт целесообразно применять искусственные материалы, чаще всего стеклопластики. Однако и здесь нельзя исключать как вариант постройку клееного из древесины корпуса (для судов, длина которых не превышает 10 м). Сталь или алюминий в качестве материала для корпусов яхт серийной постройки также хороши. Алюминий, хотя и несколько дороже стали, стал очень популярен в США для постройки яхт по типовым проектам. Стоимость алюминиевого корпуса примерно на 50% выше стоимости хорошо построенного корпуса из стеклопластика, однако расходы на его изготовление составляют только 10—20% стоимости полностью укомплектованной яхты. Примерно такое же соотношение затрат и для корпусов, склеенных из дерева. Неудивительно поэтому, что наряду со стеклопластиками дерево и металл все чаще используются в качестве материала для постройки яхт. Если требуется высокая живучесть судна при легкой конструкции, то яхту следует строить только из дерева.

Благоприятное соотношение массы корпуса и длины яхты может быть получено и при постройке корпуса из алюминиевых сплавов. Многие специалисты видят в применении легких сплавов будущее яхтостроения вообще. Это кажется верным для крупных быстроходных моторных яхт и катеров.

Применение легированных и нержавеющих сталей для постройки яхт, наоборот, переоценивают. По сравнению с постройкой яхт из обычной стали это не дает никаких преимуществ в массе и владелец стального судна при соответствующем уходе вряд ли столкнется с проблемами коррозии.

Тот удивительный факт, что исключительно надежный материал — сталь — только в настоящее время получил широкое применение в яхтостроении, можно объяснить широким распространением в наши дни пескоструйной обработки стали и ее пассивирования, которые практически устраняют главный недостаток: возможность появления и развития коррозии. У стали как и у других металлов, любой дефект легко обнаружить и устранить.

Период расцвета пластмассового судостроения сменился после многих свидетельств о недостаточной прочности яхт, построенных из стеклопластика, периодом реалистической оценки качеств этого материала. Любителю-судостроителю едва ли стоит останавливать свое внимание на стеклопластике не только из-за отсутствия надлежащего оборудования, но даже в том случае, когда расходы на оснастку благодаря использованию матриц, взятых напрокат, могут быть относительно невелики. Недостаток опыта работы с этим материалом должен побудить любителя отказаться от работы с ним, предоставив это профессиональным верфям.

Столь же затруднительна для любителя постройка яхт из армоцемента. Наряду с таким существенным недостатком, как большая масса, в этом неоднородном материале кроется много возможных дефектов. Как и у стеклопластика, дефекты изготовления из армоцемента часто обнаруживаются только спустя несколько лет. В Австралии и Новой Зеландии, где цена на дерево высока, в течение многих лет в армоцементе видели дешевый заменитель, но сейчас наступил период охлаждения к этому материалу. Продажная стоимость армоцементных яхт низкая, однако экономия средств при постройке корпуса не покрывает технических недостатков армоцемента.

Постройка яхты из металла привлекает любителя прежде всего возможностью создания долговечного и недорогого корпуса, особенно корпуса с двухскуловыми обводами из стали. Корпус с круглошпангоутными обводами целесообразнее строить с клееной деревянной диагональной обшивкой — конструкция, непревзойденная по долговечности и легкости.

## 1.2. ПРОЕКТ

После выбора материала и четкого определения назначения судна (для дальних спортивных плаваний, туризма или гонок) заказчиком и конструктором решаются такие вопросы, как потребность в спальных местах и санитарных устройствах, тип и мощность механической установки, дальность плавания под мотором, оборудование устройствами для обеспечения безопасности (например спасательные шлюпки), тип парусного вооружения, допустимые уровни шума в каютах, желаемые ходовые качества под парусами и мореходность, уровень комфорта, необходимость установки систем кондиционирования воздуха, опреснителя и других устройств и т. д.

Конструктивные решения должны быть гармонично согласованы между собой. Имеются в виду в основном следующие критерии.

*Для катера* (моторной лодки): планировка спальных и жилых помещений (по возможности дальше от источников шума, таких как моторы, агрегаты и гребные винты); размещение цистерн (как можно ближе к центру величины по длине — для облегчения дифферентовки при различной наполняемости цистерн); расположение винтов или винта (на возможно большем расстоянии от днища судна и руля — для уменьшения вибрации); применение выпускных газопроводов с глушителями достаточных размеров и забортным выводом по возможности дальше от жилой палубы и жилых помещений; мощность двигателя, обеспечивающая развитие заданной скорости при проектном водоизмещении; мощность генератора, необходимая для питания потребителей электроэнергии.

*Для яхты:* способность к несению парусов, обусловливаемая остойчивостью и массой балласта; положение центра парусности по высоте и длине относительно центра бокового сопротивления подводной части судна; ограничение осадки; необходимое оборудование палубы; планировка внутренних помещений; изменение положения центра величины при крене; предельные значения в обмере по правилам IOR; обеспечение относительной безопасности от опрокидывания.

*Для парусно-моторного судна:* в проекте такого судна необходимо учитывать в равной мере основные критерии как парусного, так и моторного судов. Этим, по-видимому, и объясняется тот факт, что сегодня имеется сравнительно небольшое число парусно-моторных судов, удовлетворяющих современным требованиям.

Наряду с названными специальными критериями при проектировании отдельных типов яхт учитывают общие критерии, важнейшие из которых следующие: начальная остойчивость и предельная остойчивость при крене 90°; сопротивление воды движению судна (обычно рассматривают три составляющих его: сопротивление трения, сопротивление формы и волновое); удельная мощность (отношение мощности на гребном валу к водоизмещению судна); соответствие положения центра тяжести положению центра величины по длине корпуса; площадь руля; размеры связей набора; учет предписаний по правилам классификационных обществ.

После того как все указанные критерии учтены по степени их важности и приняты решения об их реализации в проекте, можно приступать к разработке генерального плана проекта. При этом необходимо оценить распределение объемного водоизмещения по отношению к распределению массы и выполнить

эскизную проработку теоретического чертежа судна. Число последовательных приближений зависит от опыта конструктора — начинающему конструктору приходится перерабатывать проект много раз.

### 1.2.1. Расчет массы и положения центра тяжести судна

Расчет массы и положения центра тяжести судна — кропотливая работа, которая могла бы привести к нужным результатам уже при первом расчете, если бы конструктор знал точное значение массы всех деталей корпуса и оборудования. При этом расчете ведут отсчет плеч — расстояний центров тяжести отдельных элементов конструкции или деталей от основной линии (ОЛ) и мидель-шпангоута. Значения плеч вписывают в одну из колонок расчетной таблицы. В другой колонке проставляют массы соответствующих элементов, в третьей — моменты, полученные умножением плеча на массу данного элемента. Сумма моментов, разделенная на сумму всех учтенных масс, дает расстояние центра тяжести судна от соответствующей плоскости (по высоте — от ОЛ; по длине — от миделя).

При эскизной проработке проекта для небольших парусных яхт иногда выполняют еще расчет на безопасность от опрокидывания при крене 90°.

При первом расчете массы и положения центра тяжести неизбежны некоторые допущения. В то время как размеры деталей корпуса можно установить из сравнительных данных по другим подобным проектам, для яхт со значительным насыщением механическим и электротехническим оборудованием часто трудно определить массу соответствующего оборудования. Это относится прежде всего к системам трубопроводов и кабелей, масса которых на больших яхтах может составлять несколько тонн. Кроме того, при предварительном расчете отсутствуют точные данные о массе отдельных элементов устройств и оборудования. Конструктор обычно руководствуется сравнительными данными по отдельным группам массовой нагрузки. Это, естественно, не исключает повторного детального расчета массы элементов устройств и оборудования, даже если уже выполнены расчеты прочности и остойчивости и проведены буксировочные испытания модели с последующей корректировкой обводов корпуса. При отсутствии достаточного конструкторского опыта нередко приходится проводить больше двух расчетов массы и положения центра тяжести.

### 1.2.2. Разработка теоретического чертежа и расчет водоизмещения

Следующим этапом проектирования яхты является разработка теоретического чертежа и расчет водоизмещения.



Масштаб теоретического чертежа целесообразно выбрать таким, чтобы впоследствии его можно было использовать также для проектирования общего расположения яхты. Основу чертежа составляет сетка из линий теоретических шпангоутов, ватерлиний, батоксов и рыбин, которые наносят на прозрачную пленку с обратной стороны. Это позволяет в дальнейшем корректировать линии, пользуясь резинкой, без нарушения линий сетки, проведенных с большой точностью.

Сначала вычерчивают контуры бокового профиля и палубы, а также обвод мидель-шпангоута, затем — обводы других теоретических шпангоутов, рыбин и ватерлиний. При проектировании обводов шпангоутов и ватерлиний конструктор преследует цель обеспечения самого благоприятного обтекания корпуса, необходимой остойчивости формы и эстетического внешнего вида судна. Абсолютное выполнение этих условий выражается в точном совпадении предварительно определенного центра тяжести с центром величины подводного объема корпуса по длине, а также в достижении такого водоизмещения, которое было получено из расчета массовой нагрузки.

Распределение водоизмещения по длине является критерием, которому при проектировании быстроходных судов придают все большее значение. Обводы парусных яхт, кроме того, должны быть рассчитаны на плавание судна с креном от 0 до 30°. Необходимо, чтобы распределение водоизмещения по длине яхты при изменении крена изменялось как можно меньше. Это старое правило многие конструкторы сегодня забыли.

В то время как едва ли существует сомнение в том, что корпус моторного судна, особенно судна, рассчитанного на глиссирование, должен иметь минимальное водоизмещение, какое только допускают прочность материала и масса устройств, о корпусе парусной яхты этого сказать нельзя. Во-первых, здесь доля балласта является фактором, определяющим способность судна к несению парусов, и, во-вторых, ветер часто бывает неравномерным по своей скорости. Яхта с легким водоизмещением при шквале быстро набирает скорость, а после порыва ветра так же быстро теряет ее. Несмотря на успех яхт с малым водоизмещением, особенно при полном курсе (под спинакером), оказалось, что слишком легкое судно на волне в крутой бейдевинд не идет, а «топчется» на месте. Это сопровождается неприятной качкой. Для получения хороших всесторонних качеств яхты рационально, чтобы корпус и оснастка были легкими, как только допускают требования прочности, а общее водоизмещение было выдержано в разумных пределах.

На современных яхтах не применяют больше длинного киля и S-образных шпангоутов, поэтому обводы плавникового балластного киля чаще всего проектируют отдельно от корпуса, подготавливая самостоятельный теоретический чертеж. На общем теоретическом чертеже судна показывают часто только

контур киля с основными поперечными разрезами. В последнее время для килей используются обтекаемые профили, испытанные в аэродинамической трубе или опытовом бассейне, поэтому конструктору обычно известны центры величины их объема и центры тяжести. При расчете водоизмещения и центра величины судна объемы плавников киля и рулей, как правило, рассчитывают отдельно и наносят на строевую по шпангоутам дополнительно.

Строевая по шпангоутам при нормальном и накрененном положении быстроходных водоизмещающих парусных яхт стала наряду с характерными очертаниями кормовых ветвей батоксов важным критерием при проектировании обводов. Она определяет эффективную длину корпуса по ватерлинии, которая имеет мало общего с теоретической, или конструктивной, длиной по ватерлинии (КВЛ). В принципе конструктор стремится распределить водоизмещение как можно ближе к окончанию ватерлинии в носу и корме. У моторного судна эта тенденция выражается в появлении бульбовидного носа и такой же кормы. У парусной яхты применение носового бульба невозможно из-за плохого поведения яхты на волне, так как при килевой качке он создает повышенное сопротивление. Компромисс был найден в применении относительно полных сечений по носовым шпангоутам. В кормовой части, наоборот, целесообразна концентрация водоизмещения в корпусе яхты, так как здесь несложно обеспечить плавный сток воды. Некоторые конструкторы используют даже перо руля, как тело, имеющее достаточно большое водоизмещение, между тем как существуют обводы корпуса, которые просты и несмотря на это эффективны с точки зрения обмера.

Расчет водоизмещения и центра величины выполняют по правилу Симпсона, вычисляя площади теоретических шпангоутов. Для этой же цели используют планиметр, с помощью которого находят площади шпангоутов и наносят их на строевую по шпангоутам. Обкатав строевую планиметром, определяют водоизмещение. Пользуясь правилом Симпсона, можно быстро найти положение центра величины по длине. Довольно точно это можно сделать, уравновешивая строевую по шпангоутам, вырезанную из бумаги, на острие ножа. Проектирование линий теоретического чертежа с согласованием точек пересечения ватерлиний, рыбин и шпангоутов на всех проекциях, а также получение нужного значения водоизмещения и положения центра величины требует от конструктора терпения, сноровки и опыта.

### 1.2.3. Прочность и остойчивость

Если конструктор при разработке конструкции корпуса не может использовать данные о размерах связей набора и прочности подобных судов, он должен или детально рассчитать прочность корпуса, или обратиться к предписаниям классификационных обществ, таких, как Германский Ллойд, Английский Ллойд и т. п. Классификационные общества получают почти все сведения о необходимых размерах деталей набора из опыта эксплуатации построенных судов. Однако пользоваться предписаниями классификационного общества целесообразно, когда речь идет о типовых судах. Если же требуется спроектировать чрезвычайно легкое и быстроходное судно, то конструктору лучше обратиться к расчетам прочности.

Выполняют расчеты общей продольной прочности корпуса, местной прочности и проверку на скручивание. Для небольших яхт расчет общей продольной прочности, как правило, не требуется, так как соотношение высоты и длины современных корпусов относительно мало. Даже для больших яхт часто отказываются от выполнения этого расчета из-за его трудоемкости (в связи с необходимостью учета динамики волнения). При этом кривую массовой нагрузки, выведенную из распределения массы корпуса и оборудования судна, сопоставляют с предполагаемым распределением сил плавучести для нескольких случаев в зависимости от того, где находится гребень и подошва волны относительно миделя. При упрощенном методе вершины волны принимают за опорные точки на носовом и кормовом перпендикулярах в местах их пересечения с КВЛ. Возникающее при этом напряжение определяют в явно опасном сечении, в большинстве случаев в середине судна, и оценивают соответствующим коэффициентом прочности, взятым из опыта постройки предшествующих яхт. Но даже и этот значительно упрощенный метод расчета довольно сложен.

К контрольным расчетам местной прочности относится расчет на сжатие корпуса, как и расчеты действующих напряжений в оснастке, руле и креплении балластного киля. Опытные конструкторы используют данные таблиц Ллойда при проектировании яхт облегченной конструкции, уменьшая указанные там размеры элементов набора на определенный процент.

Полный расчет руля и сечения баллера весьма трудоемкий, если не используется компьютер. Хорошие исходные данные и в этом случае могут быть получены из правил Германского Ллойда. Для выбора размеров сечения мачт и штагов можно еще воспользоваться старым американским методом расчета, в основу которого полагаются данные об остойчивости яхты при крене 30°.

К расчету местной прочности относится определение размеров крепления балластного киля. У некоторых гоночных яхт с узкими и глубокими килями при больших скоростях хода, особенно под спинакером, появляются значительные переменные нагрузки. Они возникают вследствие косого натекания

потока на киль. Точный расчет этих нагрузок возможен только с помощью компьютера с соответствующей программой, хотя по результатам таких вычислений некоторые конструкторы разработали более простую методику расчета.

До сих пор нет упрощенного метода для расчета сил, скручивающих корпус яхты. Киль и руль, с одной стороны, и такелаж, с другой, дают довольно значительный скручивающий момент. У яхты, сконструированной по предписаниям классификационного общества, эти нагрузки учитываются в коэффициентах запаса прочности корпуса. У яхт облегченной конструкции такие нагрузки становятся критическими, нередко возникают усталостные явления.

Для правильного определения размеров всех узлов корпуса на стадии выполнения расчетов прочности необходимо принимать во внимание требования по безопасности. Массу спасательных и противопожарных средств нужно учитывать уже при первом расчете массовой нагрузки. Учитывают также массу аварийного рулевого устройства, максимальные размеры кокпита и минимальные размеры сливных шпигатов. Все классификационные общества включили в свои инструкции соответствующие устройства для обеспечения безопасности плавания, которые рекомендуется использовать для мореходных яхт. Особенно это необходимо, если яхта должна получить класс согласно Правилам постройки. Для 90% парусных яхт, которым не присваивается класс и которые строятся без наблюдения Регистра, целесообразно руководствоваться вновь переработанными в 1974 г. Правилами крейсерского отделения Германского парусного союза. В них содержатся международные и национальные директивы, касающиеся минимального снабжения и оборудования для обеспечения безопасности плавания мореходных парусных яхт на основе требований ORC (Международного комитета океанских гонок), а также вытекающие из этих требований дополнительные рекомендации по безопасности.

### 1.2.4. Расчет остойчивости

Для всех яхт поперечная остойчивость является важным критерием проектирования и одним из основных факторов безопасности плавания. К тому же у парусной яхты остойчивость непосредственно связана с продвижением вперед, так как сила тяги приложена на значительной высоте над уровнем воды, которая в свою очередь оказывает соответствующее сопротивление движению. Способность нести паруса, а отсюда и достижимая скорость зависят в основном от остойчивости яхты, которая противодействует давлению ветра при углах крена до 30°.

Если не принимать во внимание откренивающий эффект экипажа, то начальная остойчивость яхты обеспечивается в основном ее шириной или, иначе говоря — остойчивостью формы корпуса. Способность к несению парусов швертботов и многокорпусных яхт определена почти исключительно остойчивостью формы, так же как и скорость современных килевых яхт зависит главным образом от остойчивости формы.

Основной характеристикой остойчивости формы является поперечный момент инерции ватерлинии. Поэтому в первом приближении рабочую площадь парусности для современных яхт с плавниковым килем и обводами швертботного типа можно подсчитать по формуле

$$S = kLB,$$

где $S$ — площадь парусности; $k$ — эмпирический коэффициент; $L$ — длина по КВЛ; $B$ — ширина по КВЛ.

Для современных килевых яхт длиной 7—14 м $k = 1{,}9...2{,}3$. В водах Северного моря и Балтики рациональным оказался $k = 2$. Морские яхты в среднем несут, следовательно, 2 м$^2$ парусности на каждый квадратный метр прямоугольника со сторонами $L$ и $B$, причем в эту площадь входят только грот и передний парусный треугольник. Для сравнения гоночная яхта, например класса «Солинг», имеет $k = 2{,}32$. Для других парусных судов, согласно Х. Баадеру, могут быть приняты следующие значения $k$ (неизвестно, правда, учитывается ли здесь фактическая площадь стакселя или обмерная площадь переднего треугольника):

| Тип яхты | $k$ |
|---|---|
| «Звездник» | 4,18 |
| «Темпест» | 2,80 |
| «Дракон» | 2,47 |
| «R12» | 3,67 |
| «Фолькбот» | 2,16 |
| Учебно-парусное судно «Горх Фок» | 2,34 |
| «Олимпик» | 1,88 |
| «Летучий голландец» | 2,09 |
| «505» | 2,45 |
| Катамаран «Торнадо» | 1,25 |

У многокорпусных судов площадь парусности, вычисленная по отношению к площади ватерлинии, относительно невелика, так как вряд ли у них есть резервы остойчивости для преодоления динамических дополнительных нагрузок, вызываемых шквалами или волнами.

Большинство конструкторов оценивают способность яхты нового проекта к несению парусов опытным путем по данным предыдущих конструкций. В США применяется эталонный (сравнительный) расчет остойчивости, в котором учитываются площадь парусности, плечо статической остойчивости, метацентрическая высота, водоизмещение и предполагаемое давление ветра. В результате определяется так называемый коэффициент Делленбуша, который представляет собой крен яхты в

градусах при давлении ветра, равном единице. Этот приближенный метод хорош только при сравнении проекта с аналогичными построенными яхтами.

До сих пор об остойчивости говорилось главным образом как о факторе, влияющем на продвижение яхты вперед, но гораздо важнее она как фактор обеспечения безопасности плавания яхты. Для полноты картины нужно исследовать остойчивость формы и остойчивость массы, которая зависит от взаимного расположения центра тяжести и центра величины, а также статическую и динамическую остойчивость.

Для определения статической остойчивости нужно не только найти угол крена при статически постоянных моментах, таких, например, как равномерное давление ветра, но и кренящие моменты, появляющиеся при приведении яхты к ветру, изменении давления ветра или изменении распределения нагрузки относительно ДП. Предварительный расчет статической остойчивости нового проекта возможен, но он довольно трудоемкий и для яхт длиной до 20 м применяется редко. Для крупных яхт почти всегда выполняют только предварительную оценку остойчивости на основе сравнения ее с известными параметрами остойчивости прототипов, которыми располагает опытный конструктор.

Для морских яхт длиной свыше 20 м почти всегда делают опыт кренования. Условием для его выполнения является расчет кривых элементов теоретического чертежа. Все дальнейшие исследования, касающиеся плавучести, остойчивости, дифферента, спуска со стапеля и непотопляемости, базируются на этих кривых. Результатом пересчета остойчивости является

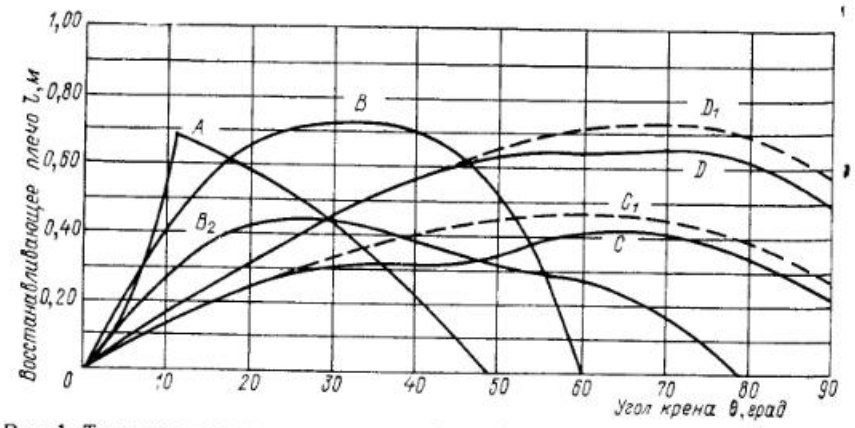



Рис. 1. Типичные диаграммы статической остойчивости.

*A* — катамаран; *B* — швертбот с трапецией; $B_2$ — крейсерский швертбот; *C* — яхта компромисс или со скуловыми килями; *D* — килевая яхта с высоким надводным бортом; $C_1$ и $D_1$ — варианты яхт с надстройкой-баком.



диаграмма статической остойчивости (рис. 1). Опытом кренования определяется фактическое положение центра тяжести судна по высоте.

Кривые плеч остойчивости яхты при различных состояниях нагрузки (цистерны полные, наполовину заполненные или пустые) являются показателями статической остойчивости судна, позволяют определить максимальное плечо остойчивости и судить о тенденциях судна к уменьшению или увеличению статической остойчивости.

К сожалению, рассчитываемые с таким трудом кривые плеч остойчивости не имеют того значения, какое они должны были бы иметь при наличии единого масштаба для сравнительной оценки остойчивости разных судов. Предпосылкой для составления единого масштаба может быть, например, учет динамического воздействия на поперечную остойчивость яхты внезапного шквала при волнении.

Расчет динамической остойчивости яхты кажется практически почти бесперспективным, особенно для небольших парусных яхт. До сих пор рассчитывают только кривые плеч остойчивости при движении яхты на спокойной воде. Уже много лет теоретики занимаются тем, чтобы заранее предсказать остойчивость судна на волнении. Так, в военно-морском флоте ФРГ разработаны определенные теоретические схемы для расчета потери остойчивости во время волнения. Но эти исследования можно проводить только на базе дорогостоящего испытания моделей, учитывая даже стабилизирующее влияние скорости судна.

При проектировании торговых судов диаграммы остойчивости первоначально носили только сравнительный характер без использования специальных критериев, характеризующих динамическое воздействие волнения. Точно было известно, что картина остойчивости судна на волнении не та, которую могли дать кривые плеч остойчивости на тихой воде. Таким образом, остойчивость опрокинутых судов исследовали по их диаграммам, рассчитанным для тихой воды. Такие же данные имелись и для судов, которые считались остойчивыми. Так постепенно установили, какими должны быть метацентрическая высота, плечо восстанавливающего момента при крене в 30° и угол заката диаграммы остойчивости на тихой воде, чтобы судно получилось заведомо остойчивым (критерий Рахола).

Этим, чисто статистическим, приемом пользуются и в настоящее время для оценки остойчивости обычных торговых судов. Следовательно, определение остойчивости, несмотря на сложность, основано на статистических данных и потому оно не абсолютно, а относительно.

В необычных условиях, например при чрезвычайно сильном волнении, справедливость установленных сегодня норм остойчивости может быть подвергнута сомнению.

Стремление оценить остойчивость яхты аналогичным трудоемким и дорогостоящим методом исследований и разработок для яхт длиной менее 20 м совершенно нереально. Это представляется технически невыполнимым вследствие большого разнообразия существующих типов яхт. Дело не только в больших затратах на предварительный расчет остойчивости и контроль путем опыта кренования. Эти затраты могли бы быть оправданы для серийных яхт, начиная с некоторых определенных размеров. Выше упоминалось о том, что для реальной оценки остойчивости наряду с методом вычисления статической остойчивости следует оценивать и динамические нагрузки. Однако для спортивных судов практически не существует таких методов, которые позволили бы получить необходимую информацию об остойчивости для разнообразных типов яхт путем испытания кренования, расчета кривых элементов теоретического чертежа, паитокарен и диаграмм динамической остойчивости.

Изготовители и поставщики яхт говорят о неопрокидываемых судах на основе оценки массы балласта, которая составляет ту или иную долю от водоизмещения судна. Положение центра тяжести балласта при этом совершенно не подлежит оценке. Кроме того, среди специалистов нет единого мнения относительно того, к какому состоянию нагрузки яхты относить проценты доли балласта: к судну с заполненными цистернами, с емкостями, заполненными наполовину, с экипажем и снабжением на борту или с порожними цистернами и без людей. Выбирая один из нескольких вариантов нагрузки, получают различные проценты доли балласта. Так как остойчивость имеет решающее значение для безопасности яхты, знание соответствующих плеч остойчивости по отношению к основным кренящим и восстанавливающим моментам играло бы не меньшую роль.

Еще в 1973 г. автор на страницах журнала «Ди Яхт» привел схему расчета для возможности сравнения теоретической остойчивости современных яхт. По этой простой схеме любой конструктор может сравнить остойчивость своих проектов при крене 90° с другими яхтами, известными как заведомо остойчивые. Для одной яхты такой расчет занимает не более получаса. Совместными усилиями многих конструкторов, прежде всего создателей яхт, известных как остойчивые, можно было бы выработать четкое определение понятия «остойчивый от опрокидывания». В разделе этой книги «Остойчивость и непотопляемость» предлагается схема расчета, дополненная двумя предельными (граничными) кривыми для оценки минимальных и остаточных восстанавливающих моментов относительно размеров яхт.



## 1.3. БУКСИРОВОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ И ОБВОДЫ ЯХТ

Основой для проведения буксировочных испытаний модели часто служит теоретический чертеж проекта, согласованный со всех выше рассмотренных точек зрения, включая относительное положение центра тяжести яхты и центра величины. Испытания моделей яхт в опытовом бассейне обычно так дороги, что их целесообразно проводить только для больших и дорогостоящих яхт. Правда, они также необходимы для разработки проекта серийной или типовой яхты, по которому должно быть построено множество судов.

Идея буксировочных испытаний в бассейне была претворена в жизнь уже в конце XVIII в. при проектировании больших парусных судов. Модели судов приводили в движение с помощью падающего груза и точными весами измеряли величину сопротивления. В 1863 г. англичанин Вильям Фруд создал основу для пересчета результатов с учетом масштаба модели, так что стало возможным рассчитывать сопротивление натурного судна.

Конструктор яхт, однако, из-за больших расходов на проведение буксировочных испытаний может прибегать к ним только время от времени. Для парусных яхт испытания усложняются тем, что модели должны буксироваться не только в нормальном (прямом) положении, но и с различными углами крена и дрейфа (рис. 2). Например, при испытаниях одного из проектов Бриттона Ченса было испытано 16 различных моделей, каждая по 27 раз. Итого было проведено 432 буксировки. Эта работа заняла несколько недель, расходы составили 40 000 марок ФРГ без учета затрат на изготовление моделей. Так как каждая из деревянных моделей длиной около 1 м с упряжкой (приспособление для буксировки) стоила также несколько тысяч марок, то варьировались обводы только четырех основных моделей путем наложения на них пластмасс с последующей доработкой. Путем систематических изменений обводов в очень узких пределах удалось достичь оптимальных показателей при минимальном сопротивлении на всех курсах и при всех скоростях. Данные этих буксировочных испытаний моделей 16-метровой яхты были затем пересчитаны посредством компьютерной программы для других яхт тех же размеров.

Обе составляющие сопротивления: сопротивление формы, которое подчиняется закону Фруда, и сопротивление трения, изученное Рейнольдсом, пересчитываются для натурного судна по результатам испытаний моделей отдельно. Но так как при буксировочных испытаниях эти составляющие сопротивления могут быть замерены только вместе, то в этом пересчете есть некоторая погрешность. Погрешность эта тем меньше, чем

в большем масштабе по отношению к натурному судну выполне на модель. Увеличить масштаб моделей моторных яхт не про блема, так как для буксировки без крена и дрейфа можно вос пользоваться опытовыми бассейнами больших размеров, рас считанных на испытания моделей крупных судов. Сложнее в этом отношении испытания моделей парусных яхт, размеры которых, как правило, невелики. В связи с этим сравнительны буксировочные испытания проводят более простыми методами

При испытании яхты с помощью перемещающихся грузов модели придают необходимый крен и дифферент, приближающиеся к их значениям на натурной яхте при постоянном давлении ветра. Различные углы встречного потока воды могут быть установлены с помощью шпрюйтовидной подвески из тонкой стальной проволоки, за которую крепят тяговый трос. Буксировка может быть проведена в бассейне длиной около 30 м. После прохождения начального участка разгона с помощью двух фотоэлементов, задающих импульс на электронный секундомер, замеряют скорость установившегося движения модели при постоянной тяге. Скорость модели затем пересчитывают на значение скорости натурной яхты. Однако решающим фактором является различие в скоростях сравниваемых моделей.

Результаты многочисленных буксировок, нанесенные на график зависимости скорости от массы буксирующего груза, дают

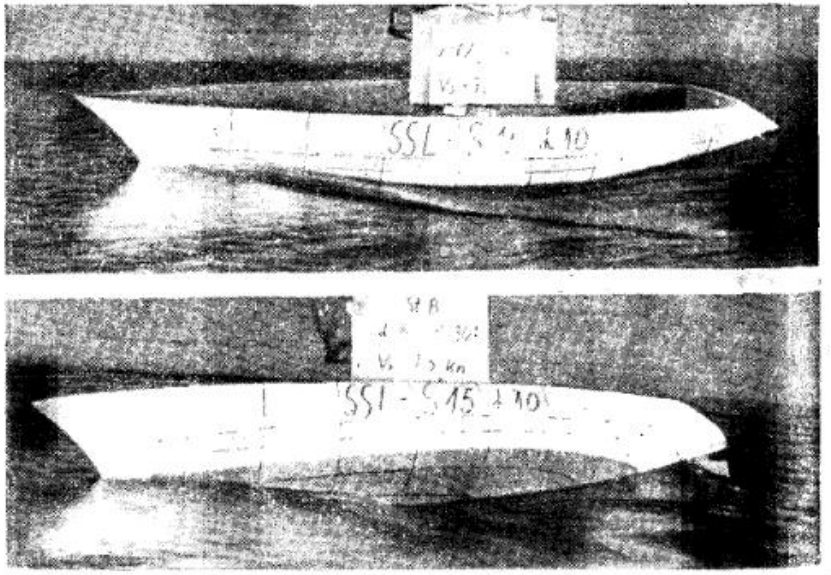


Рис. 2. Буксировочные испытания моделей парусных яхт проводят при различных значениях углов крена и дрейфа.



в режиме водоизмещающего плавания кривые (рис. 3). Такие испытания были проведены в опытовом бассейне и стоили значительно меньше, чем нормальные буксировочные испытания.

Сложное измерительное оборудование, имеющееся в технологическом институте Стефенса в Хобокене под Нью-Йорком, считается одним из самых совершенных для испытаний моделей парусных яхт. Однако и оно работает с некоторыми погрешностями и исключительно дорогое.

Буксировочные испытания можно не проводить, если конструктор располагает достаточно точными сравнительными данными, позволяющими выполнять соответствующие пересчеты с ранее испытанных моделей на новый проект. Но их рекомендуется проводить, когда требования к проекту необычны. Если позволяют финансы, лучше изготовить по крайней мере 2—3 модели яхты с изменяемыми обводами.

В том случае, когда обводы яхт после буксировочных испытаний в бассейне нуждаются в корректировке, конструктор еще раз прорабатывает теоретический чертеж. На нем наносят положение конструктивных шпангоутов, которые не всегда расположены на одинаковом расстоянии друг от друга. Конечным результатом работы над теоретическим чертежом является составление таблицы плазовых ординат, данные которой

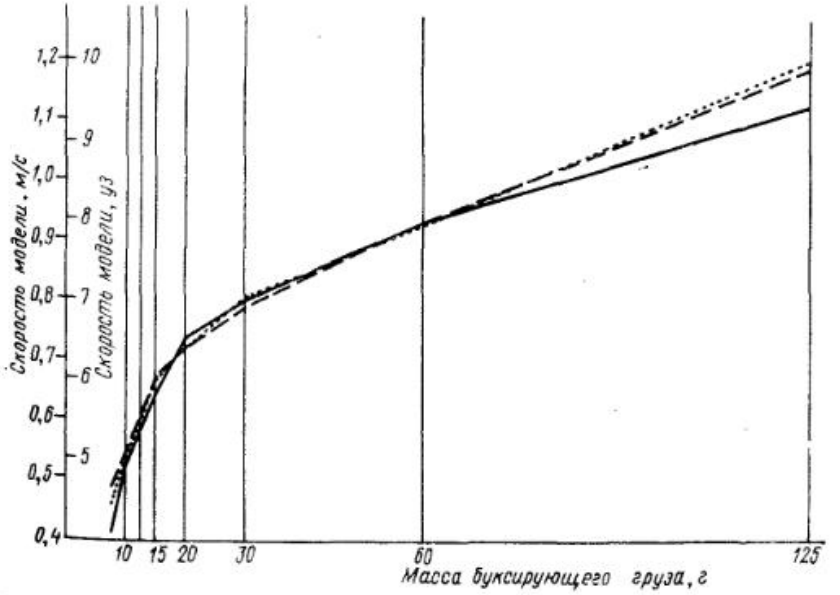



Рис. 3. Результаты буксировочных испытаний моделей (зависимости скорости от массы буксирующего груза) для трех различных килевых яхт — однотонников, свидетельствующие о высокой точности примененного метода.

используют для разбивки теоретического чертежа в натуральную величину на плазе. Некоторые конструкторы иногда выполняют окончательный чертеж в различных масштабах, например, принимают масштаб по ширине яхты 1 : 10 и масштаб по длине 1 : 25. С помощью лупы и масштабной линейки с мелкими делениями конструктор снимает размеры, по которым сразу же составляют чертеж конструктивных шпангоутов в натуральную величину.

Другая возможность состоит в использовании электронного компьютера, что общепринято в крупном судостроении. Размеры с теоретического чертежа автоматически выравниваются компьютером и точно согласуются друг с другом в отдельных сечениях. Ординаты любого сечения, любой ватерлинии и рыбины, как и любого другого разреза корпуса, можно взять из запоминающего устройства компьютера. Однако сомнительно, чтобы значительные расходы, связанные с использованием компьютера для обычной постройки яхты, могли быть оправданы. На современной верфи, располагающей аппаратурой с программным управлением для газовой резки металла, с помощью которой можно вырезать несколько наборов книц, продольных балок, листов наружной обшивки по перфокартам, эти расходы имели бы смысл, так как значительный объем работ, выполняемых на плазе, можно было бы сократить. Но поскольку почти ни одна верфь малого судостроения не располагает такой установкой, использование электроники влечет за собой больше расходов, чем экономии.

Более распространен метод, когда конструктор наносит линии чертежа на кальку из прочного пластика так точно, что они с помощью фотооптического метода разметки могут быть использованы для изготовления шаблонов различных деталей корпуса. Этот метод не требует больших затрат и усилий. На американских и европейских верфях им пользуются с большим успехом.

## 1.4. ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОСТРОЙКЕ

Параллельно с указанными выше проектными работами конструктор должен составить технологическую инструкцию по постройке яхты и ее спецификацию. В этих документах должны содержаться все технологические указания, перечень и технические данные оборудования, которых нет в основных рабочих чертежах. Спецификация и основные чертежи яхты составляют основу для заключения договора на постройку между заказчиком и верфью. Это относится в одинаковой мере как к индивидуальной постройке судна, так и к серийной постройке яхт.

В инструкции по постройке уточняются все технические детали, которые до этого были положены в основу расчета массовой нагрузки. Если на этой стадии разработки проекта нет еще ясности в отношении изделий механической части и оборудования, то в спецификации подробно указывают технические требования к ним.

Действующие Правила классификации и постройки также должны учитываться в спецификации, как, например, число слоев и вид покрытия наружной обшивки, объем палубного оборудования, материал для покрытия палубы. Здесь же определяют общий объем строительных чертежей, которые конструктор должен отправить владельцу яхты или верфи.

В ФРГ на многих верфях хорошо зарекомендовала себя система деления спецификации на девять основных конструктивных групп с соответствующими подгруппами.

Все, что не входит в спецификацию или не помечено на чертежах, относящихся к договору на постройку, не входит также и в объем заказа. Инструкция на постройку в окончательной редакции должна быть готова прежде начала работы над рабочими чертежами деталей. Она служит руководством для детальной разработки и при необходимости в чертежи должны быть внесены исправления. При постройке небольших яхт или на верфи, занимающейся частичными поставками, часто отказываются от составления подробной спецификации: основные данные оговариваются при заключении договора. В любом случае спецификация должна иметь четкую структуру и быть наглядной, чтобы при сдаче яхты заказчику служить также паспортом судна.

## 1.5. РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ

Рабочие чертежи являются конечным результатом деятельности конструктора, по которому заказчик или верфь могут оценивать его работу, не считая готовой яхты. Им предшествуют множество проектных чертежей и набросков. Если сконструированная яхта должна быть классифицирована, то часто изготовляют еще так называемые утверждаемые чертежи, которые отсылают в классификационное общество и по замечаниям вносят в них необходимые изменения. Эти чертежи служат основой для разработки главных рабочих чертежей на постройку яхты. Самыми важными являются чертежи «мидель-шпангоут» и «конструктивный чертеж». Они разрабатываются и читаются всегда вместе.

Чертеж мидель-шпангоута состоит по меньшей мере из двух-трех поперечных сечений, наиболее типичных для конструкции корпуса яхты, и выполняется чаще всего в масштабе 1 : 10 (рис. 4). Он содержит все необходимые размеры сечений и сведения о материалах и способах соединения (сварке, соединении на болтах, винтах или клею). На нем показаны увеличенными наиболее типичные детали, например, уплотнение

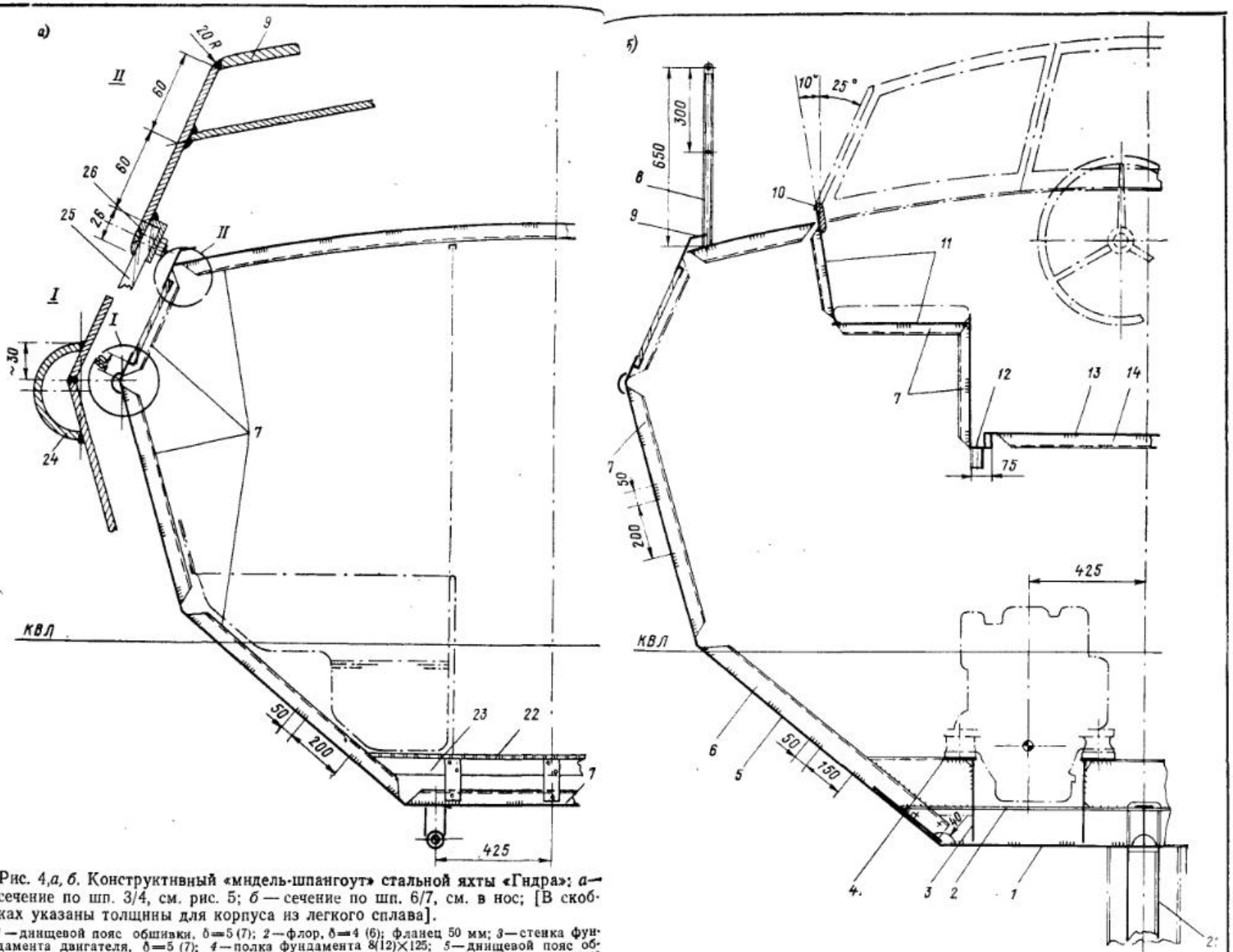



Рис. 4,*а, б*. **Конструктивный «мидель-шпангоут» стальной яхты «Гндра»:** *а* — сечение по шп. 3/4, см. рис. 5; *б* — сечение по шп. 6/7, см. в нос; [В скобках указаны толщины для корпуса из легкого сплава].

*1* — днищевой пояс обшивки, δ=5 (7); *2* — флор, δ=4 (6); фланец 50 мм; *3* — стенка фундамента двигателя, δ=5 (7); *4* — полка фундамента 8(12)×125; *5* — днищевой пояс обшивки, δ=4(6); *6* — шпангоут, угольник 60×40×4 (75×50×6); *7* — угольник 40×30×3 (50×35×5); *8* — леерная стойка, труба 30×3 (35×5); *9* — планширь 5(8)×60; *10* — комингс кокпита, тик 110×35; *11* — обшивка кокпита, δ=3(5); *12* — угольник 75×50×4 (75×50×6); *13* — монтажный люк, δ=3(5); *14* — угольник 40×30×3 (50×35×5); *15* — палуба бака, δ=3 (5); *16* — рамный шпангоут, угольники 60×40×4 (75×50×6); *17* — стенка надстройки, δ=3(5); *18* — **бракета**, δ=4(6); *19* — стрингер, δ=4(6); *20* — киль, δ=4(6); *21* — обшивка плавникового киля, δ=6 (8); *22* — настил, фанера δ=15; *23* — опора пайола, 60×30, красное дерево; *24* — привальный брус, из трубы 70×3(5); *25* — плексиглас, δ=10; *26* — накладка, нержавеющая сталь.

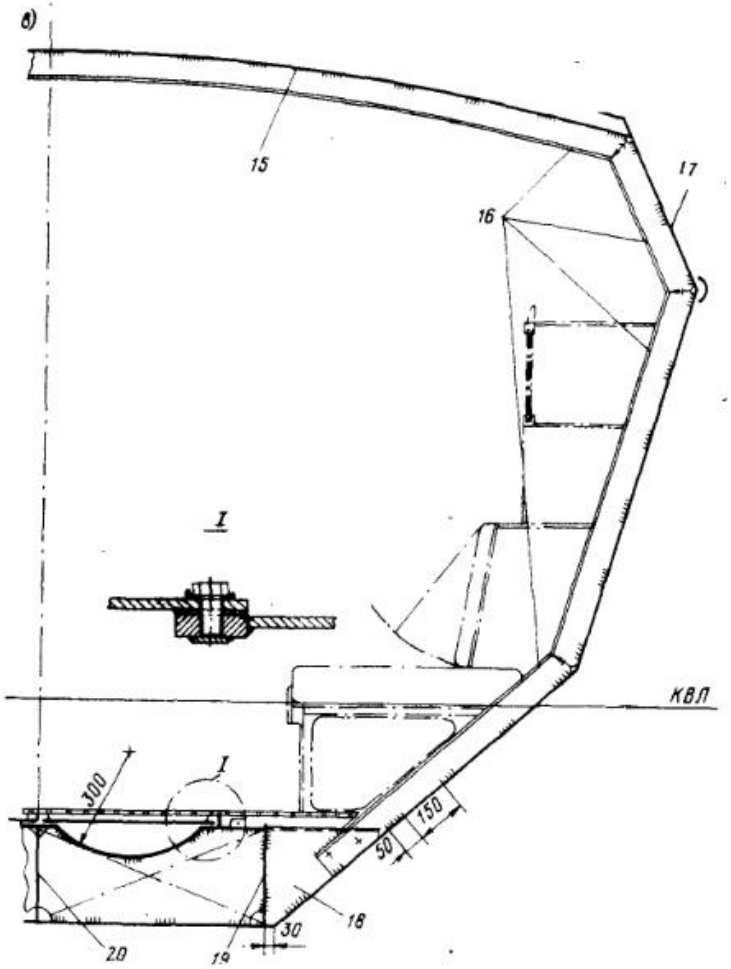



Рис. 4, *в*. Конструктивный «мидель-шпангоут» стальной яхты «Гндра»:
*в* — рамный шпангоут — шп. 10.

*15* — палуба бака, δ=3(5); *16* — рамный шпангоут, угольники 60×40×4 (75×50×6). *17* — стенка надстройки, δ=3 (5); *18* — бракета, δ=4(6); *19* — стрингер, δ=4(6). *20* — киль, δ=6(8).

крышки люка, детали иллюминаторов и т. п. Если «мидель-шпангоут» используют одновременно как чертеж для утверждения в классификационном обществе, то помещают, кроме того, перечень предписанного оборудования.

В конструктивном чертеже корпуса указывается пространственное расположение всех деталей относительно друг друга (рис. 5). Строитель яхты определяет по этому чертежу расположение переборок, рамных шпангоутов, киля, руля и мачты, точно так же, как и расчетную высоту флоров (днищевых рамных шпангоутов), конструкцию кокпита, расположение люков, иллюминаторов, крышек цистерн, фундамент для двигателя и т. д. Для корпусов из стеклопластика в большинстве случаев делают для наглядности еще дополнительный чертеж формовки корпуса, из которого ясно расположение армирующего стекловолокна. По чертежам «мидель-шпангоут», «конструктивный чертеж» вместе с подробным чертежом общего расположения, в котором указан объем оборудования и оснастки, а также спецификацией для постройки верфь может дать разрешение на постройку яхты.

Для больших яхт к основным строительным чертежам относятся также схемы основных трубопроводов, чертежи электрооборудования, чертежи руля, киля, крупных фундаментов, чертежи парусов и такелажа. Наряду с размерами мачты и гика или сведениями о необходимых минимальных моментах инерции в этих чертежах содержатся все данные о типе и диаметре тросов стоячего такелажа; о материале, диаметре и длине снастей бегучего такелажа; все размеры шкаторин предусмотренных парусов и т. п.

Чертежи оборудования для малых и средних яхт можно отнести к главным строительным чертежам. Это два-три чертежа с соответствующими данными о типе материала и размерах сечений деталей. Отдельные соединения и узлы обычно не вычерчивают, поскольку существуют определенные нормативы верфи, а в крупных конструкторских бюро — свои собственные таблицы и типовые узлы. Когда основные чертежи готовы окончательно, начинают трудоемкую разработку детальных чертежей.

Многие конструкторы на Западе, к сожалению, довольно часто больше художники, чем опытные практики. Иногда они выдают весьма неопределенные чертежи за главные. Поскольку верфь имеет, как правило, достаточно опыта для того, чтобы выпускать детали без чертежей, или выполняет детальные чертежи собственными силами, это технически допустимо. Для яхты средних размеров, например 14-метровой «Гидры», должен быть следующий минимальный объем чертежей: «мидель-шпангоут»; «конструктивный чертеж»; чертежи балластного киля, руля и рулевого устройства; чертежи фундамента для двигателя и линии вала; чертеж устройства для подъема яхты

*1* — ребро 6×60; *2* — обшивка кокпита, δ=3(5); *3* — подкрепление под мачту, δ=4(6), пол 120×5(6); *4* — пидлерс, труба 100×6 (10); *5* — бракета, δ=15; *6* — обшивка, δ=3(5); *7* — кил 80×10; *8* — полоса 60×6(8); *9* — бракеты киля, δ=4(6); *10* — бракеты киля, δ=5(7); *11* — об катель гребного вала, δ=4(6); *12* — киль, 80×7; *13* — настил цистерн, δ=5 (6); *14* — наст палубы бака, δ=3(5); *15* — полоса 80×4(6); *16* — транец, δ=4(6); *17* — полоса 40×4(6); *18* — фло δ=4(6); *19* — переборка, δ=3(5); *20* — стойка переборки, угольник 40×40×3(5); *21* — лист п реборки, δ=4; *22* — вварной лист, δ=10 (15); *23* — лист, δ=5 (7); *24* — резиновая прокладк **25** — шп. 16, δ=4(6).

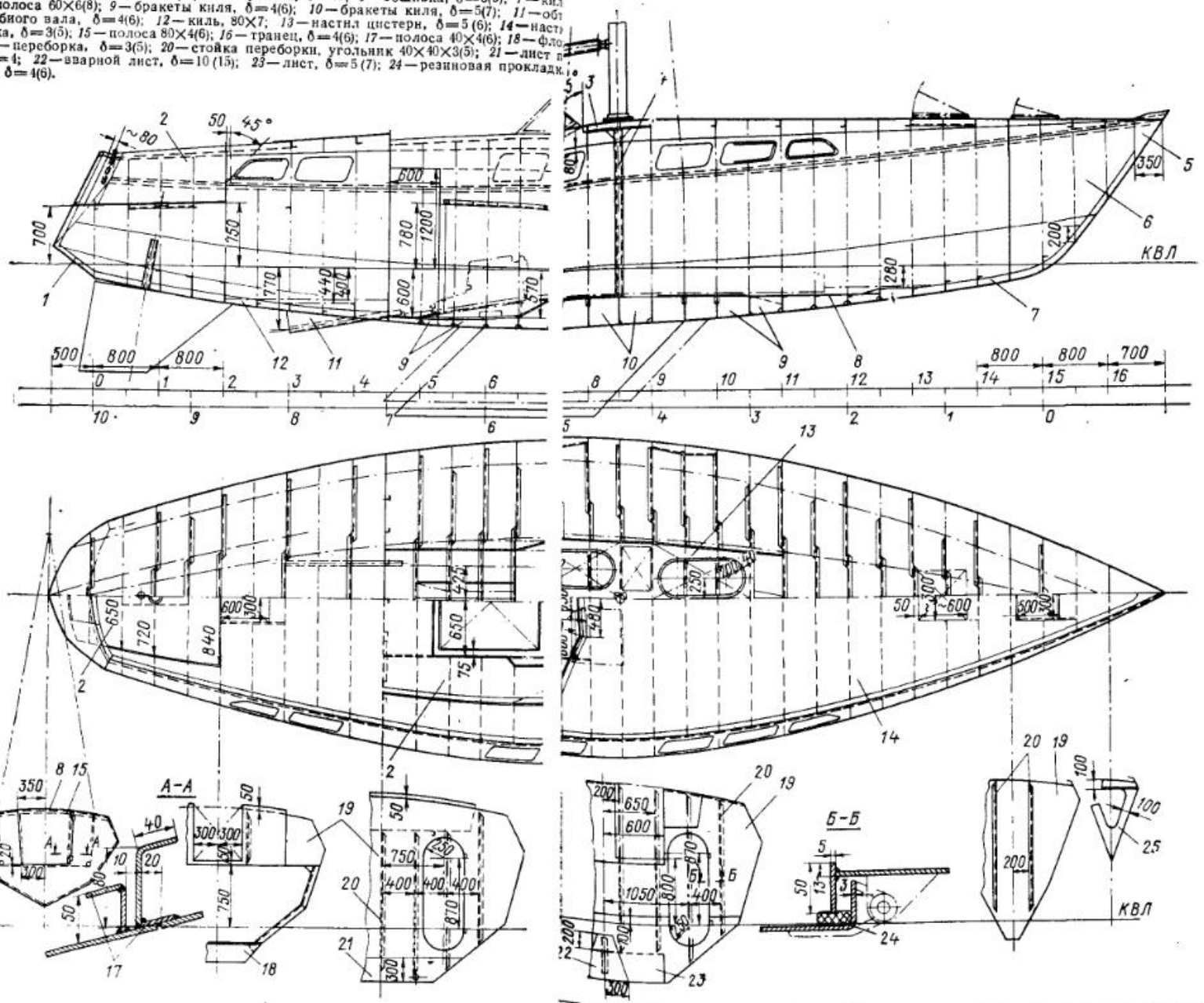



Рис. 5. Конструктивный чертеж корпуса 14-метровой яхты «Гидра».

краном; чертежи вантпутенсов и прочих деталей крепления стоячего такелажа; чертеж оковки форштевня; план палубы; чертеж парусов и такелажа; чертежи оборудования (вид сверху, боковые проекции, поперечные сечения); чертеж деталей люков; основные чертежи трубопроводов и электросистем.

### 1.6. КРИТЕРИИ ПРОЕКТА

Из множества общих и специальных критериев, принимаемых во внимание при проектировании мореходных парусных яхт, есть такие, роль которых подвергалась в последние годы существенной переоценке. Рассмотрим кратко эти критерии.

#### 1.6.1. Обводы шпангоутов

Обводы поперечных сечений корпуса являются одной из самых важных характеристик проекта наряду с такими показателями, как распределение водоизмещения по длине яхты, соотношение ее массы и остойчивости, расположение киля и руля.

В течение последних лет обводы корпуса яхты подвергались существенным изменениям. Яхты с длинной килевой линией, имевшие огромную боковую проекцию корпуса, ушли в прошлое. Сейчас в эксплуатации находятся яхты с короткими килями плавникового типа с раздельно от них устанавливаемым рулем. Первоначальные трудности в обеспечении устойчивости таких яхт на курсе уже давно преодолены, и благодаря новым экономичным способам постройки они стали преобладающим типом среди современных яхт. Это относится ко всем парусным яхтам независимо от того, идет ли речь о яхте, рассчитанной на гонки на короткие дистанции, или о паруснике, который ходит вокруг света. Конечно, как дань романтике и стремление современного человека к ценностям старины с чертежных досок конструкторов нередко сходят и яхты с удлиненным килем. Многие яхтсмены консервативны и не все конструкторы имеют достаточно твердый характер, чтобы защищать достоинства новых направлений.

*S-образные шпангоуты* (рис. 6) органически присущи корпусу яхты с длинной килевой линией. Яхты с такими обводами имеют большую смоченную поверхность и, как следствие, большое сопротивление трения. Существенным недостатком является глубокое расположение центра величины, а также нередко высокое положение центра тяжести балласта. Оба этих фактора обусловливают малую метацентрическую высоту и вследствие этого плохую остойчивость судна. Однако самый большой недостаток заключается в концентрации значительного объема в средней части судна, в его киле. Вместо равномерного расположения водоизмещения по длине судна, благоприятного для достижения предельной скорости под парусами, получается выпуклость на строевой по шпангоутам, что снижает действующую, или эффективную, длину корпуса по ватерлинии. Эти недостатки делают яхту с S-образными шпангоутами тихоходной на всех режимах скоростей. Если прибавить к этому, что постройка корпуса с такими обводами трудоемкая и дорогостоящая, то становится понятным, почему S-образные шпангоуты не применяются в современных проектах яхт.

*V-образные шпангоуты* чаще всего в сочетании с плавниковым килем умеренной длины сменили S-образные шпангоуты. Благодаря таким обводам шпангоутов уменьшается смоченная поверхность и сопротивление трения корпуса, повышается метацентрическая высота и, как следствие,— остойчивость судна. Равномерное распределение объемов по длине (плавная строевая по шпангоутам) обеспечивает возможность достижения более высокой скорости. V-образные шпангоуты присущи современным относительно узким стройным корпусам яхт, многие из которых достигали ошеломляющих скоростей при всех условиях ветра и волнения.

Однако если судно с V-образными шпангоутами становится широким и пузатым, начинает проявляться следующий недостаток: вода, обтекающая пузатый корпус по большой дуге, устремляется в пространство между плавниковым килем и расположенным позади него рулем. Резкий сгиб V-образных шпангоутов является причиной отрыва потока широкой полосой при обтекании средней части судна, вследствие чего возникает тормозящий движение яхты вихревой шнур.

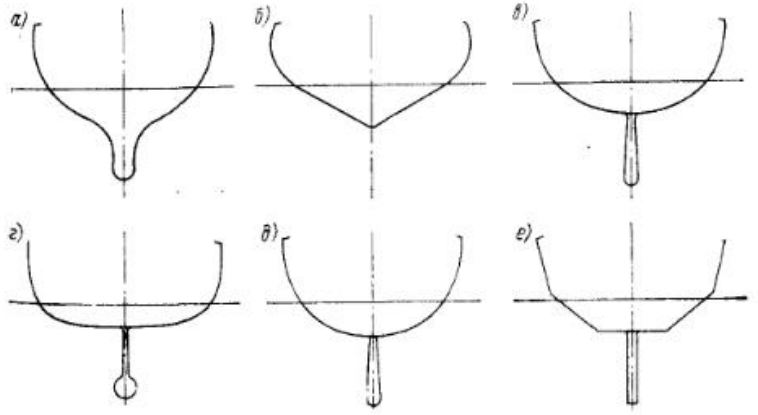



Рис. 6. Типичные обводы шпангоутов яхт: *а* — S-образный; *б* — V-образный; *в* — радиальный; *г* — U-образный; *д* — шпангоут трапецендальный; *е* — шпангоут с двойной скулой.

Другой недостаток широкой яхты с V-образными шпангоутами — склонность к сильному зарыскиванию судна в наветренную сторону при сильном ветре.

*Шпангоуты радиального типа*, имеющие под ватерлинией обвод дуги окружности, редко встречаются в чистом виде. Чаще всего используется комбинация с U-образными или трапецеидальными шпангоутами. В принципе радиальные шпангоуты в сочетании с современным плавниковым килем обеспечивают минимальную смоченную поверхность и, следовательно, минимальное сопротивление трения. Казалось бы, что такие обводы должны способствовать достижению наивысшей скорости. Однако скорость зависит еще и от остойчивости яхты (кроме курса фордевинд), которая у корпуса с U-образными шпангоутами наивысшая. Поэтому чаще применяют комбинированные обводы, сочетающие радиальные и U-образные очертания шпангоутов.

*U-образные шпангоуты*, особенно в сочетании с бульбкилем, позволяют обеспечить самую высокую остойчивость яхты. Большая смоченная поверхность корпуса с такими обводами компенсируется повышенной способностью судна нести паруса. Корпуса с U-образными шпангоутами являются самыми быстроходными. Легкие небольшие по размерам яхты способны даже глиссировать в свежий ветер. Превзойти по ходовым качествам плоскодонные суда с остроскулыми шпангоутами этого типа на гладкой воде едва ли возможно.

Серьезным недостатком судна с U-образными шпангоутами являются сильные удары корпуса о волну. На короткой жесткой волне удары становятся весьма чувствительны для экипажа, а нагрузки на конструктивные связи значительными. Корпуса крейсерских яхт с плавниковым килем не являются, следовательно, оптимальным решением проблемы, если даже их связи выполнить сверхтяжелыми. По этой причине корпуса с U-образными шпангоутами в чистом виде для морских яхт распространения не получили.

*Трапецеидальные шпангоуты* появились после того как согласно обмерной формуле IOR стали замерять глубину трюма корпуса на половине ширины B. В последних редакциях этих Правил глубину трюма замеряют в нескольких точках по ширине яхты и поэтому такие шпангоуты не должны были бы представлять интереса для конструкторов. Между тем при испытаниях моделей в опытовых бассейнах и в гонках яхт выяснилось, что суда с такими обводами шпангоутов имеют много бóльшие преимущества, чем только выигрыш при обмере, ныне потерявший смысл. Корпус с трапецеидальными шпангоутами имеет фактически самую благоприятную комбинацию качеств: умеренную смоченную поверхность и поэтому незначительное сопротивление трения, большую метацентрическую высоту и, следовательно, высокую остойчивость, как начальную, так и при больших углах крена. Применяя комбинацию из U-образных шпангоутов в носовой части судна и плоских трапецеидальных шпангоутов в кормовой, можно достичь наилучшего распределения водоизмещения по длине корпуса. Благодаря этому на такой яхте может быть достигнута предельная и даже сверхкритическая скорость водоизмещающего плавания.

Высокие мореходные качества яхт с трапецеидальными шпангоутами доказаны их плаваниями в любых условиях на крупных морских гонках. Благодаря отказу от глубоких носовых сечений корпуса судно имеет плавную качку даже на большой волне. Нос судна буквально скользит по волнам без толчков и ударов.

Самое большое преимущество корпуса с трапецеидальными шпангоутами заключается в соответствии старинному принципу проектирования парусных судов: при крене судна от 0 до 30° распределение водоизмещения по длине меняться не должно; следует соблюдать некоторую симметрию обводов ватерлиний корпуса. Правильно сконструированная яхта с трапецеидальными шпангоутами является в этом смысле хорошо сбалансированным судном, что, например, проявляется в ее устойчивости на курсе. При внезапных шквалах яхта с широким корпусом не проявляет никакой тенденции к зарыскиванию на ветер.

Единственный недостаток корпусов с такими обводами — тяжелая конструкция. Поскольку скула при днище имеет малый радиус (четко обрисована), ее обводы должны быть тщательно согласованы с направлением потока воды во избежание нежелательного отрыва потока. Это требует проведения дорогостоящих буксировочных испытаний.

*Остроскулые обводы с двойной скулой* представляют собой упрощенный вариант обводов корпуса судна с трапецеидальными шпангоутами. Все отмеченные выше преимущества таких корпусов более или менее сохраняются и в данном случае. Расположение линий скул по отношению к потоку воды здесь, естественно, еще важнее.

### 1.6.2. Сопротивление судна, распределение водоизмещения

Сопротивление воды движению яхты судостроители рассматривают состоящим из двух основных составляющих: сопротивления трения и сопротивления формы.

*Сопротивление трения* зависит от шероховатости смоченной поверхности обшивки. Уменьшение смоченной поверхности наружной обшивки и уменьшение вязкости воды путем добавления в наружные слои обшивки определенных полимеров являются испытанными средствами для снижения сопротивления трения, которое на малых скоростях движения яхты составляет значительную долю общего сопротивления. Использование

полимеров может уменьшить сопротивление трения до 36%, одна ко для судов, участвующих в гонках, этот способ запрещен все ми спортивными парусными организациями. Тщательной поли ровкой поверхности подводной части с помощью высококачест венной пасты можно снизить сопротивление трения самое боль шее на 15%. Сильное обрастание подводной части, наоб рот, ведет к повышению сопротивления трения на 50% выше.

Наиболее эффективной мерой уменьшения сопротивлени трения является, следовательно, уменьшение смоченной повер ности. За последние годы это выразилось в широком примен нии коротких килей, благодаря чему сопротивление трения уд лось снизить на 30% и даже больше без ощутимого урона дл других качеств яхты. Улучшились управляемость и остойчи вость на курсе по сравнению с традиционными яхтами, имек щими длинный киль, и снизилась стоимость постройки благо даря более простым обводам корпуса.

*Сопротивление формы*, вызванное образованием волн вихреобразованием за выступающими частями (рулями, кил ми, кронштейнами гребного вала и т. д.), так просто умен шить нельзя. Английский физик Вильям Фруд в конце XVI установил зависимость сопротивления от относительной ко рости. Уже в конце 19-го столетия точная оценка сопротивле ия формы в крупном судостроении проводилась на основании и пытаний моделей судов в бассейне. В яхтостроении этот м го начали использовать только с середины текущего столетия, хо тя и раньше, например, для разработки гоночных яхт, дела сь попытки исследования сопротивления формы.

Из-за высокой стоимости испытаний моделей только в по следние десятилетия стали проводить систематические исслед вания сопротивления формы парусных яхт. Но поскольку основные элементы проектов яхт, подвергнутых исследованию влияют формулы обмера (RORC, CCA и IOR), их результат имеют весьма ограниченную ценность.

Конструктору яхты приходится иметь дело с гидродинам кой быстроходных водоизмещающих судов, которые развива скорость в области чисел $R = 2{,}5 \ldots 4{,}0$ ($R = V/\sqrt{L}$, где $V$ - скорость, уз; $L$ — длина корпуса по ватерлинии КВЛ, м). Эти чи ла соответствуют абсолютным скоростям яхты длиной по КВ 10 м, равным 7,9—12,7 уз. Как видно из графика (рис. 7), этом интересном диапазоне скоростей находится так называ мый горб сопротивления, обусловленный ростом волнового с противления (составная часть сопротивления формы, вызва ная затратами энергии на образование волн у корпуса судна Скорость, соответствующая горбу сопротивления, называет среди специалистов предельной скоростью водоизмещающе корпуса. Она равна $2{,}43\sqrt{L}$, что дает 7,7 уз для судна с дл



ной по ватерлинии 10 м. Это, однако, устаревшая контрольная цифра.

Каждый яхтсмен, плавающий на современной быстроходной гоночной яхте, знает из собственного опыта, что предельная скорость корпуса, по крайней мере, при плавании полными курсами под спинакером, временами может быть значительно превышена. Яхтсмен, плавающий на тяжелой туристской яхте или моторном паруснике типа рыболовного тендера, может не менять своего мнения о непреодолимости звукового барьера. «Длина бежит» — старое меткое выражение — и это верно. Имеют в виду, конечно, не смоченную длину корпуса по ватерлинии, к которой чаще всего относят значение скорости, а действительную, или эффективную, длину ватерлинии. Несомненно, однако, что распределение водоизмещения по длине является исходным моментом в определении этой эффективной длины.

*Распределение водоизмещения* наглядно представляется строевой по шпангоутам яхты, отдельные ординаты которой образуют площади шпангоутов (рис. 8). Херрешоф — один из самых известных сторонников систематизированного проектирования яхт — считает синусоиду идеальной кривой распределения водоизмещения. Из теории проектирования крупных

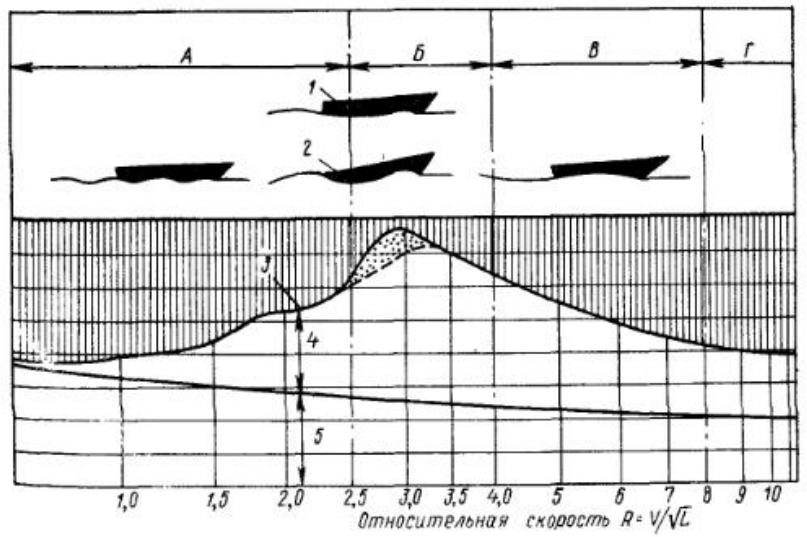



Рис. 7. Режимы движения яхты и зависимость сопротивления трения и формы от относительной скорости судна.
$V$ — скорость, уз; $L$ — длина по КВЛ, м; *А* — водоизмещающее плавание; *Б* — переходный к глиссированию режим; *В* — полуглиссирование; *Г* — чистое глиссирование.
*1* — современные обводы яхты; *2* — традиционные обводы яхты; *3* — кривая сопротивления; *4* — сопротивление формы; *5* — сопротивление трения.

судов, однако, известно, что большие объемы в оконечностях судна (на самых крайних концах строевой по шпангоутам) сказываются положительно на снижении сопротивления воды при водоизмещающем плавании. Так появился носовой бульб, который успешно применяли на больших моторных яхтах, но у более мелких и парусных яхт попытки использовать его не дали положительного результата. Так как небольшая яхта на ходу под парусами не обходится без килевой качки на волне, то получаемое небольшое преимущество в демпфировании качки не окупается вследствие роста сопротивления формы.

Сравнение строевой по шпангоутам нормального судна с коротким килем и современной быстроходной водоизмещающей яхты показывает значительное совпадение кривых в носовой части. На графике с нанесенными строевыми по шпангоутам для яхт разного типа бросаются в глаза чрезвычайно малые объемы в области носовой части у судна с длинным килем — одного из однотонников, построенных в ФРГ. Эта яхта оказалась одной из самых тихоходных на международных регатах.

Иначе обстоит дело с распределением водоизмещения в кормовой части корпуса. Кто из конструкторов впервые пришел к мысли о распределении большего водоизмещения в корме, неизвестно. Бриттон Ченс, например, существенно улучшил ходовые качества двенадцатиметровика «Интрепид» благодаря концентрации водоизмещения в кормовой части судна и эта яхта уверенно победила конкурентов в гонках на Кубок Америки 1970 г. Смещение объемов подводной части в корму в основном обеспечивало успех, хотя в некоторых случаях и не давало желаемого результата. В этих случаях конструкторы не учитывали, что смещению центра величины в корму должны сопутствовать более плоские обводы кормы, необходимые для достижения высоких скоростей.

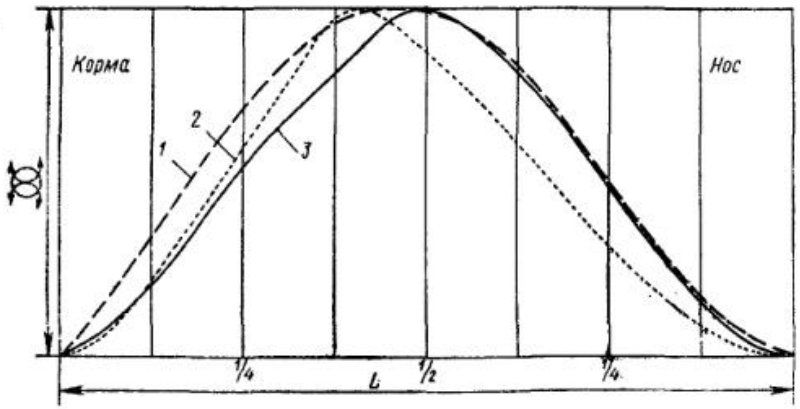



**Рис. 8. Типичные строевые по шпангоутам различных яхт.**
*1* — быстроходная водоизмещающая яхта с подъемным килем; *2* — яхта с длинной килевой линией; *3* — яхта с нормальным коротким плавниковым килем; ⊠ — площадь шпангоута; *L* — длина яхты по ватерлинии.

Показанная на рис. 8 строевая по шпангоутам быстроходной яхты с подъемным килем кажется действительно целесообразной. Наряду с распределением водоизмещения по большой длине киль нового вида способствует созданию такой скорости судна, которая считалась до сих пор недостижимой: вместо якобы непревышаемой $2{,}43\sqrt{L} = 6{,}9$ уз при длине по КВЛ 8,15 м была легко достигнута скорость 9 уз, что соответствует значению $V = 3{,}15\sqrt{L}$.

Вполне очевидно, что горб сопротивления (см. рис. 7) сместился по меньшей мере в область, обозначенную пунктиром. В этой области на корму судна действуют уже значительные динамические силы поддержания, поэтому при правильном сочетании обводов кормы яхты с новым типом киля имеются предпосылки для перехода от быстроходной водоизмещающей яхты к глиссирующему парусному с мотором. В любом случае растянутое по длине распределение водоизмещения для быстроходных водоизмещающих судов с правильным обтеканием корпуса нуждается в тщательной разработке.

### 1.6.3. Обводы носа и кормы

Некоторые проекты яхт с благоприятным распределением водоизмещения по длине, как уже говорилось выше, не дали желаемого эффекта повышения предельной скорости прежде всего потому, что не были применены кормовые обводы с более плоским днищем, необходимые для достижения высоких скоростей.

Есть два объяснения того факта, почему часто не учитывают этого критерия при проектировании обводов. Первое — это существующая тенденция выжимать из формулы IOR при проектировании яхт минимальный гоночный балл. По условиям обмера кормовых охватов корпуса корма получается сравнительно узкой и со значительной килеватостью днища. Однако на деле формула IOR отнюдь не принуждает конструктора к тому, чтобы избегать технически благоприятных плоских обводов кормы. При расчете гоночного балла такие обводы штрафуются, но не настолько, чтобы свести на нет преимущества в скорости.

Второе объяснение еще проще. Большинство конструкторов не знает, при каких обводах и скоростях поток воды отрывается и образуется тормозящий движение яхты турбулентный поток. Это кажется почти невероятным, но объясняется просто. При проектировании яхт нет большого коммерческого интереса разрабатывать судно, рассчитанное на переходный к

глиссированию режим или на чистое глиссирование. Глиссер мотором и полуглиссер значительно превосходят парусное суда с точки зрения коммерческой эффективности, поскольку бла годаря достаточному упору гребного винта моторные суда мо гут преодолевать горб сопротивления, который почти все конс рукторы водоизмещающих парусных яхт, сознавая свое бесс лие, рассматривают как магический звуковой барьер. Тольк для очень специальных целей и при больших финансовых з тратах яхта может быть так точно исследована, что проектан узнают, при каких углах выхода кормовых линий и при как скоростях наступает отрыв потока. Для этого необходимо пр вести сотни испытаний в бассейне с указателями направлен линий тока на моделях.

Результаты подобных испытаний, проведенных для кубо вых яхт, обмеряемых по формуле IOR, нельзя, однако, пер носить на все суда, поскольку обводы кормы во многом обу ловлены правилами обмера.

Некоторые конструкторы используют сечения теоретич го чертежа корпуса яхты диагональными плоскостями — р нами в качестве действительного критерия при оценке пре ных углов отрыва потока. Ватерлинии более характерны д судов, которые ходят под парусами с относительно неболь кренom.

*Плоская корма* (рис. 9) с батоксами, расположенными по углом 15° относительно ватерлинии, при малом водоизмещен и достаточно большой тяге парусов позволяет яхте глиссир вать. Этого можно достичь при плавании под спинакером ил дрифтером на полном бакштаге или фордевинде, прежде все при длинной попутной волне. Такая корма целесообразна д быстроходных водоизмещающих парусных яхт, которые расп лагая мощными вспомогательными двигателями, способн развивать скорость, близкую к сверхкритической скорости в доизмещающего плавания. Корпуса с еще более широким тра цем и наклоном батоксов под углом 10° к ватерлинии при с ответствующих условиях (благоприятное соотношение длин корпуса к ширине и высокая нагруженность парусами относ тельно водоизмещения) могут идти на переходном к глиссир ванию режиме с относительной скоростью $V = 4\sqrt{L}$ и выш (для судна с длиной по КВЛ 10 м $V$ составляет 12,6 уз выше). Однако немногие конструкторы сегодня применяют пл скую корму для килевых яхт, поскольку они должны учитыва обмерные формулы и проектировать вместо абсолютно быстр ходных яхт только относительно быстроходные. Кроме того, области совсем низких относительных скоростей вследств увеличения смоченной поверхности из-за погружения кормово свеса повышается сопротивление воды движению яхты. Эт го недостатка можно избежать путем укорачивания кормово свеса. Другие технические трудности обусловлены умерен



концентрацией водоизмещения в кормовой части судна, что означает уменьшение «действительной длины ватерлинии» на высоких скоростях, равных $2{,}2 \ldots 2{,}5\sqrt{L}$. Этот недостаток — повышенное сопротивление (примерно при 7—8 уз у судна длиной 10 м по КВЛ) можно было бы устранить, увеличив полноту обводов кормы так, чтобы получить четко обозначившийся конец строевой по шпангоутам.

*Обрезная корма* (рис. 10) с углом выхода батоксов до 35° и больше является, в первую очередь, следствием проектирования обводов по формуле IOR без учета сопротивления формы, сильно возрастающего при высоких скоростях из-за отрыва потока. Такой тип кормы хорош в диапазоне низких относительных скоростей (примерно до $V = 2\sqrt{L}$ уз, что составляет 6,5 уз у судна длиной 10 м по КВЛ). Однако при скоростях выше этого значения отрыв потока с сильно тормозящими ход яхты завихрениями за кормой неизбежен. Хотя подобные обводы не являются общепринятыми, но уже получили достаточно широкое распространение. Иногда предполагают улучшить условия обтекания такой кормы на высокой скорости, проектируя контур ДП под углом 20° к КВЛ.

*Плоская корма водоизмещающего судна* (рис. 11) обеспечивает углы схода потока 20° и менее и позволяет сконцентрировать достаточную часть водоизмещения у кормового конца ватерлинии, что необходимо при расчете на плавание со сверхкритической скоростью. Благодаря подобным обводам кормы можно достичь относительной скорости около $V = 3\sqrt{L}$ (для судна с $L = 10$ м $V \approx 9{,}5$ уз) без отрыва потока. В этом диапазоне лежит, правда, почти крайний предел скорости, которую может развить водоизмещающее судно. Еще некоторое повышение скорости можно получить за счет более резкого обреза кормы при одновременном уменьшении углов схода потока. Однако для того чтобы попасть в область скоростей переходного к глиссированию режима, нельзя обойтись без широкой опорной поверхности днища у транца. Разработка такой формы кормы яхты-полуглиссера с хорошими мореходными качествами остается до сих пор еще нерешенной задачей.

Меньше вариантов имеется при проектировании носовой оконечности килевой яхты. Здесь фактор поведения в море на волне устанавливает границу концентрации водоизмещения в носовой части. Несмотря на это время от времени у неопытных конструкторов вновь возникает довольно старая идея бульбового носа. Такая яхта выдерживает, однако, только буксировочные испытания на тихой воде. Как показывает анализ строевых по шпангоутам быстроходных яхт (см. рис. 8), концентрация водоизмещения в носовой части возможна только до определенного уровня, иначе поведение судна на волнении будет неблагоприятным.

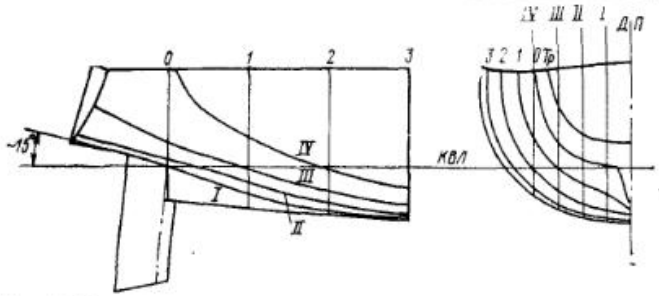



Рис. 9. Плоская корма с наклоном батоксов к ватерлинии под углом 15° и ниже дает возможность при условии соответствующей тяги парусов двигаться в режиме серфинга. При углах выхода батоксов ниже 10° в определенных условиях возможен переходный к глиссированию режим с относительной скоростью $V = 4\sqrt{L}$ и выше.

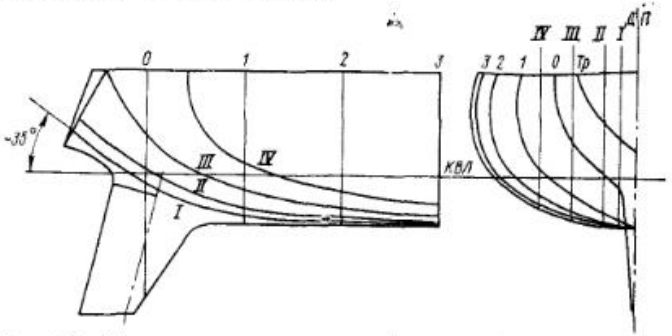



Рис. 10. Обрезная корма, у которой линии батоксов наклонены под углом до 35° к КВЛ, применяется в области низких относительных скоростей. Начиная примерно с $V = 2\sqrt{L}$, неизбежны отрыв потока и завихрения в корме.

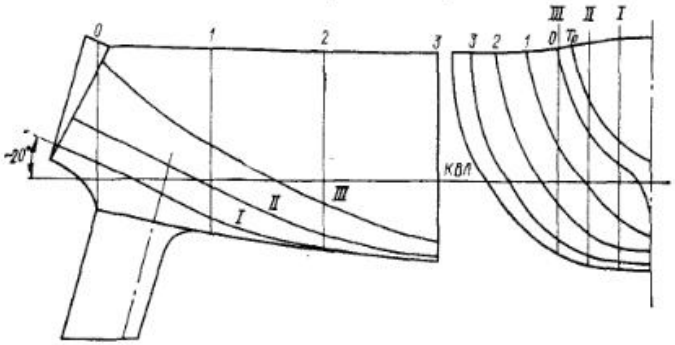



Рис. 11. Плоская корма водоизмещающего судна с углом выхода батоксов до 20°. Желательна концентрация водоизмещения в корме, необходимая для достижения сверхкритической скорости.



В последние годы выявились две основные тенденции в проектировании обводов носовой оконечности.

1. Классический глубокий вход форштевня (рис. 12) с острыми обводами ниже КВЛ обеспечивает самое лучшее поведение судна на волне, по крайней мере, относительно легких яхт.

2. Плоские очертания носовой оконечности (рис. 13) — другая крайность. В сочетании с сильно U-образными шпангоутами и плоским днищем может быть достигнута такая концентрация водоизмещения в носу, как у классического типа обводов корпуса с глубоким погружением форштевня. При соответствующей тяге парусов яхта с такими обводами может достигать высоких скоростей.

В случае комбинации плоского днища с трапецеидальными шпангоутами отсутствуют большие приводящие к ветру моменты даже у широких судов и на шквалах. Поведение на волне

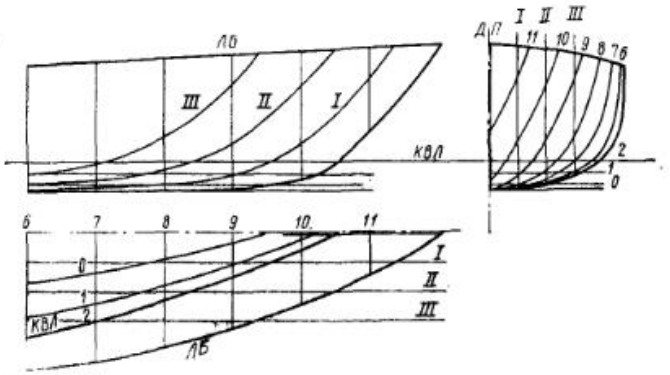



Рис. 12. Носовая оконечность яхты с глубоким входом.

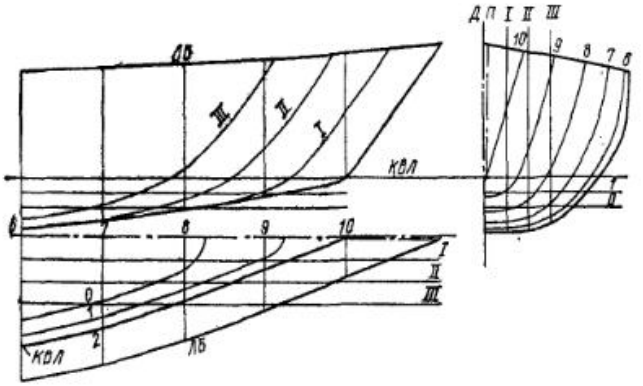



Рис. 13. Плоский носовой подрез имеет преимущества для быстроходных водоизмещающих яхт среднего тоннажа.

судна с таким носом, особенно яхты нормального водоизмещения, удивительно хорошее. Яхта движется по воде практически без носовой волны и не ударяет жестко днищем о волну, как при крене в контакт с водой вступает скула малого радиуса, а не плоское днище. Чрезмерно облегченные яхты при движении навстречу волне оказываются не так хороши.

Между двумя рассмотренными крайними типами обводов носовой оконечности яхт разрабатывают различные варианты, которые не приносят с собой много нового.

### 1.6.4. Размещение киля и руля

Назначение киля наряду с обеспечением необходимой остойчивости яхты путем балластировки состоит в том, чтобы препятствовать дрейфу или уменьшать его. При небольшом отклонении руля на 3—5° в подветренную сторону киль получает несимметричный профиль, на котором создается гидродинамическая сила, препятствующая дрейфу. У яхт с коротким килем и отдельно расположенным рулем появляется сопутствующий эффект — тенденция к зарыскиванию в наветренную сторону.

Голландский конструктор Ван де Штадт был первым, кто решил устранить этот недостаток. Он установил закрылок (триммер) на кормовой кромке плавникового киля, отклоняя который от ДП, можно было получить оптимальную подъемную силу киля без какого-либо отклонения руля. Впоследствии конструкторы, которые не поняли смысла закрылка Ван де Штадта, соединили триммер с основным рулем. Так как триммер, применяемый правильно, давал яхте преимущества в гонках, то в обмерную формулу были введены штрафные поправки, учитывающие эффект подвижной части киля. Это в дальнейшем положило конец применению дифферентовочного руля на гоночных яхтах.

В 1951 г. Ван де Штадт демонстрацией своей удачной в гонках яхты «Зеевалк» открыл эру яхт с короткими килями, дальнейшему успеху которых способствовал американец Ричард Картер, применив такие кили на своих широких океанских яхтах типа швертботов. Оглядываясь назад, можно заметить, что этот успех был обусловлен скорее преимуществами в обмере, которые давала чрезмерная обмерная ширина корпусов Картера.

Пузатые яхты Картера с коротким килем типа знаменитого однотонника «Оптимист» вначале были недостаточно устойчивыми на курсе (к слову сказать, этих проблем не возникало на яхте «Зеевалк»). Предполагали, что на этих яхтах неправильно был установлен руль балансирного типа, доказательством чего считали улучшение устойчивости яхты на курсе после установки плавника перед рулем.



Плавник руля, несомненно, стабилизирует яхту на курсе, однако абсолютно необходимым он не является, как было доказано на примере ряда удачных проектов яхт с балансирными рулями. Сейчас у конструкторов яхт укоренилось мнение, что правильное распределение водоизмещения в сочетании с умеренной шириной корпуса и трапецеидальными шпангоутами более существенно влияет на управляемость, чем форма пера руля. Первоначальные проблемы на «Оптимисте» были связаны с большой шириной корпуса в сочетании с исключительно U-образными шпангоутами, а также неблагоприятным распределением водоизмещения по длине корпуса.

Распространенное мнение, что яхты с длинным килем устойчивее на курсе и более пригодны для путешествий на большие расстояния и кругосветных плаваний, чем яхты с коротким килем, ошибочно. Ниже будет сделана попытка показать на примере известных проектов яхт зависимость управляемости и устойчивости на курсе от расположения киля и руля.

Для возможности сравнения яхт различных размерений масштабы были так пересчитаны, что на рис. 14 получается одинаковая длина по ватерлинии.

Известно, что расстояние между центром тяжести площадей геометрических фигур киля и руля наряду с формой корпуса и распределением водоизмещения являются критериями первого порядка. Чем это расстояние меньше, тем меньше влияет руль на управляемость. При изучении профиля подводной части различных яхт ясно видны особенности этих судов. Старая «Индиго» —

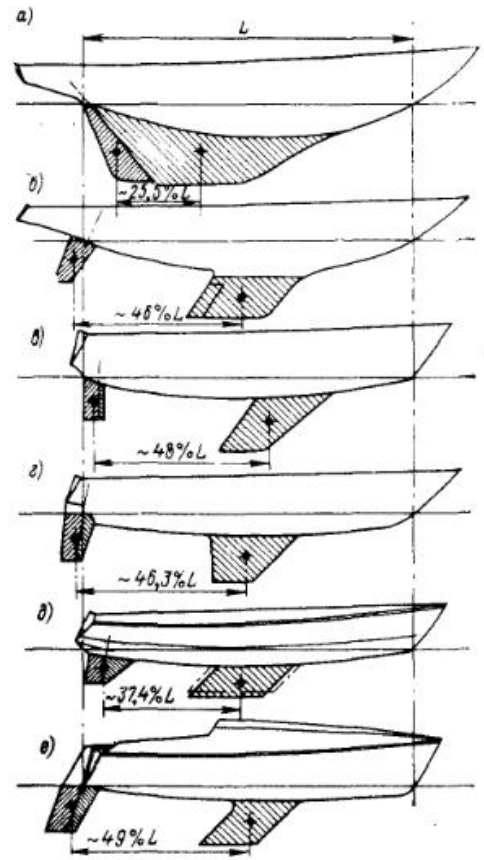



Рис. 14. Сравнительные очертания подводного профиля яхт, условно приведенных к одинаковой длине по ватерлинии $L$: *а* — «Индиго»; *б* — «Оптимист»; *в* — «Ченс-32»; *г* — «Христина»; *д* — «Гидра»; *е* — «Контра».

быстрейшая яхта ФРГ 1966 г. и проигравшая затем несколь международных регат, имеет самое маленькое расстояние межд центрами площадей киля и пера руля (около 25,5% $L$). Несмо ря на большую площадь пера руля, реакция яхты на положени руля при маневрах слаба и судно неповоротливо.

У яхты с длинным килем подобный недостаток можн объяснить тем, что между килем и рулем не может протекат вода. Кто думает, что эта недостаточная поворотливос компенсируется хорошей устойчивостью на курсе, ошибается «Индиго» со своим длинным килем при сильном ветре, особен но под спинакером, зарыскивала даже больше первых яхт короким килем, имевших дефекты.

Однотонник «Оптимист», дважды выигрывавший чемпиона мира в этом классе яхт, после увеличения наклона пера рул стал устойчив на курсе и хорошо управляем при всех погод ных условиях. Расстояние между центрами площадей киля руля, равное 46% $L$, компенсировало ранее обнаруженные не достатки V-образных шпангоутов при пузатом широком ко пусе и значительной концентрации водоизмещения в средне части судна. То, что позже Клаус Хенер на яхте типа «Опти мист» принял участие в гонках одиночек через Атлантически и Тихий океаны и не имел трудностей с управлением яхт говорит само за себя.

Яхта «Ченс-32» может считаться образцом того, как в положительные конструктивные качества трапецеидальны шпангоутов, растянутого распределения водоизмещения, ум ренной ширины и большого расстояния между центрами пл щадей руля и киля (примерно 48% $L$) привели к отлично управляемости. Судно реагирует даже при легкой зыби н слабый нажим пальцем на румпель и вместе с тем несмотр на малую площадь пера руля исключительно устойчиво к курсе.

«Христина», призер гонок Адмиральского Кубка, сконстру рованная Дугом Петерсоном, имеет еще более растянутое ра пределение водоизмещения и еще бо́льшую площадь пера рул чем «Ченс-32». Сочетание трапецеидальных шпангоутов достаточно большого расстояния между центрами площаде киля и руля (46% $L$) дало с одной стороны отличную устой чивость на курсе и с другой — отличную маневренность да при чрезвычайных условиях гонок.

«Гидра» — 14-метровая яхта с двойной скулой, имеет относ тельно небольшую осадку, длинный плавниковый киль и бол шую площадь пера руля. Вследствие того что мачта для авт матического стакселя расположена далеко от носа, расстоян между центрами площадей киля и руля меньше (37,4% $L$), че на других яхтах с отдельным от киля рулем. Вместе с расп нутым распределением водоизмещения, умеренной шириной обводами корпуса с двойной скулой получилось достаточ



поворотливое и устойчивое на курсе судно. Даже при скорости 16 уз под спинакером яхта в 1974 г. в гонках на Гаваях шла «как по рельсам», и команда, делая в сутки до 227 морских миль, достигла своей цели. Чтобы избавиться от недостатков, связанных с неудобством спуска или подъема на берег и обусловленных коротким килем, на многих последующих яхтах этого типа осадку уменьшили до 1,60 м и немного удлинили плавник киля.

«Контра» длиной 6,80 м и общей массой около 900 кг — оптимальная яхта для перевозки на трейлере — имеет самое большое расстояние между центрами площадей киля и руля (около 49% $L$). Благодаря большой площади пера руля яхта обладает отличной устойчивостью на курсе. Рулевой может оставлять румпель на курсе бейдевинд для работы на баке; не представляет трудности и поворот в узком пространстве.

Подводя итоги, нужно сказать, что обычная яхта с длинным килем не только значительно тихоходнее, но и менее управляема. Как океанская яхта для длинных переходов она уступает в любом отношении средней яхте с коротким килем. Даже обычный аргумент, что тихоходное и тяжелое судно в открытом море меньше требует от команды вмешательства для управления им, не может быть принят. Средняя яхта с коротким килем, специально сконструированная для крейсерских плаваний, потребовала бы для меньшей скорости и меньшую площадь парусов. Кроме того, расходы на постройку яхты с длинным килем выше, не говоря уже о том, что окраска подводной части из-за бо́льшей ее площади дороже. Таким образом, нет больше никаких серьезных аргументов в пользу традиционных яхт с длинной килевой линией.

### 1.6.5. Типы кипей

Применение различных типов килей для парусных яхт, хотя в принципе они все должны выполнять одинаковую роль, можно объяснить различными представлениями конструкторов яхт о важности тех или иных гидродинамических характеристик килей.

Основные сведения о сопротивлениях и коэффициентах подъемной силы профилей, применяемых для килей парусных яхт, поступают из аэродинамических лабораторий авиационной промышленности. Многих конструкторов яхт эти сведения не удовлетворяют. Опыт, накопленный при разработке быстроходных парусных яхт, не совпадает или только частично совпадает с результатами продувки профилей в аэродинамических трубах. Это объясняется, во-первых, тем, что кили парусных яхт только в нижней части находятся в спокойной воде без поверхностных завихрений. Во-вторых, при килевой качке в случае шторма на море условия обтекания киля существенно

изменяются. Так, например, казалось бы, что бульбовые кили благодаря низкому положению их центра тяжести очень хороши. Однако вследствие отрыва потоков на верхней и нижней сторонах бульба, неизбежного при резкой килевой качке, возникает повышенное сопротивление, которое сводит на нет преимущества этих килей.

Другой фактор, который при исследованиях профилей в авиационной промышленности не принимается во внимание,— устойчивость судна на курсе. Из множества профилей конструктор яхты должен выбрать такой, который дает наивысшую подъемную силу при минимальном сопротивлении с учетом реальных углов атаки киля к набегающему потоку воды. В поиске таких профилей Бриттон Ченс провел обширные исследования путем кропотливых измерений действительных углов обтекания корпусов различных яхт. В лаборатории Дэвидсона в Институте технологии Стивенса путем систематического изменения профиля киля в различных высотах получили плавниковый киль, у которого центр гидродинамической подъемной силы расположен в его верхней трети. Этого удалось достичь постепенным увеличением относительной толщины профиля киля в его нижних сечениях. Благодаря тому что утолщенные поперечные сечения расположены в нижней части профиля, здесь можно сосредоточить большую массу свинца или чугуна и тем самым обеспечить более низкое положение центра тяжести балласта.

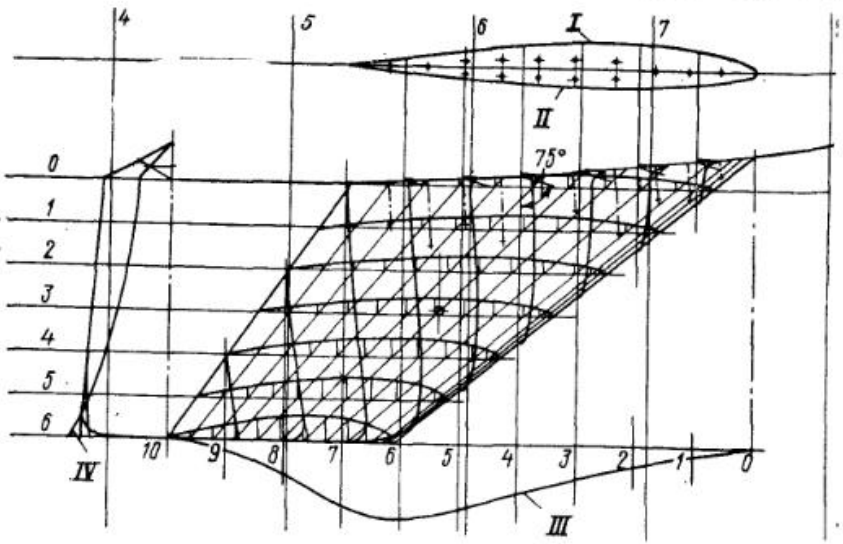



Рис. 15. Теоретический чертеж плавникового киля.
*I* — фланец киля; *II* — рыбина под 75° к ДП; *III* — строевая по шпангоутам; *IV* — строевая по ватерлиниям.

Обводы такого идеального киля показаны на рис. 15. Скос кромок киля примерно на 30—60° назад дает особый эффект. Чем больший крен получает яхта, тем больше увеличивается нежелательный момент приведения яхты к ветру. С другой стороны, чем сильнее крен, тем бóльшая часть плавникового киля оказывается в теневой стороне потока за корпусом, особенно если корпус имеет трапецеидальные шпангоуты с относительно острой скулой. Вследствие этого центр гидродинамического давления киля смещается вниз, а благодаря скосу кромок — еще и назад. Расстояние между центром бокового сопротивления и центром парусности, следовательно, с возрастанием крена также увеличивается, что способствует уменьшению приводящего к ветру момента. Приведенные данные получены Уффа Фоксом, который продемонстрировал этот эффект на своем проекте глиссирующей яхты «Флайнг Фифтин». Другое преимущество скошенного назад стреловидного плавникового киля должно заключаться в улучшенной устойчивости яхты на курсе. Теории или экспериментов, подтверждающих это предположение, правда, неизвестно.

Для создания подъемной силы на профиле киля по всей его высоте целесообразно выполнять соединение боковых поверхностей киля с корпусом под прямым углом. На рис. 15 это соединение выполнено скругленным с небольшим радиусом только из соображений обеспечения прочности — с целью снижения действующих напряжений в месте соединения фланца киля с корпусом.

При ограниченной осадке целесообразно удлинить фальшкиль, а в случае ограниченной массы балласта обычно нельзя обойтись без облегченного бульбового киля, который позволяет компенсировать недостающую массу увеличением плеча, на котором подвешен балласт. Это особенно удобно для лодок, перевозимых на трейлере, которые имеют ограничение как по осадке, так и по массе.

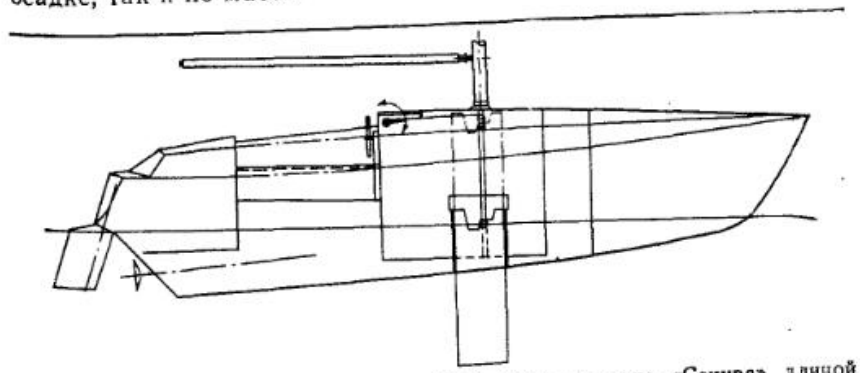


Рис. 16. Принцип устройства подъемного киля на яхте «Секура» длиной 9,30 м.

Яхта-компромисс, имеющая выдвижной киль и балластны фальшкиль, была раньше единственным решением проблем судна с малой осадкой. Для того чтобы достичь при относи тельно небольшом углублении балласта достаточной остойчи вости, необходимо повышать долю балласта в общей масс яхты. Это является большим недостатком прежде всего дл яхт, рассчитываемых на глиссирование или на перевозку н автомобильном прицепе — трейлере. Если речь идет лишь немного большем балласте, то яхта-копромисс остается и сего дня приемлемым решением.

Яхта-компромисс и яхта с балластным швертом — оба тип одинаково пригодны для судна с ограниченной осадкой. Пр одинаковой массе балласта яхты с тяжелым швертом обеспе чивают достаточную остойчивость и поэтому вытеснили во мно гих случаях яхты-компромиссы. Яхты, снабженные таким килями, обычно имеют меньшую смоченную поверхность и ока зываются быстроходнее обычных яхт-компромиссов.

Подъемный киль является своего рода балластированным швертом, который опускается и поднимается посредством талей, лебедок, винтового шпинделя или с помощью гидравлики. Если подъемный киль и швертовый колодец конструктивно выпол нены правильно, то касание о грунт не опаснее, чем на яхте с плавниковым килем. При посадке на мель обычно достаточно нескольких оборотов рукоятки подъемного устройства, чтобы судно вновь было на плаву, в то время как яхта с постоянным килем в таком случае сидит на грунте прочно.

Балластный вращающийся шверт по сравнению с подъемным килем имеет одно преимущество и два недостатка. Преимущество заключается в том, что швертовый колодец можно устроить под столом, где он не создает неудобств при оборудовании каюты. Недостатками являются открытая щель швертового колодца в обшивке корпуса, образующаяся позади балластного шверта в опущенном положении, и повышенные нагрузки на шверт, возникающие при касании о грунт. При жесткой посадке на мель система рычагов или гидравлика могут быть повреждены, хотя судно и не пострадает. Кроме того, подъемные тали могут разорваться или спутаться, когда высоко поднятый балластный шверт неожиданно упадет вниз.

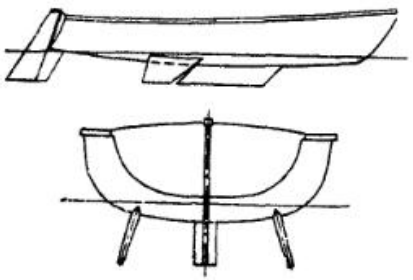


Рис. 17. Яхта со скуловыми килями и центральным балластным килем.

Подъемный киль хорошо зарекомендовал себя прежде всего для небольших яхт. В яхтах длиной более 9 м цел-



сообразно применять внутренний балласт с тем, чтобы масса подъемного киля не превышала 700—800 кг. Шверт такой массы можно поднять с помощью простейших механизмов за три минуты.

Устройство подъемного киля с десятикратными талями из троса и небольшой самотормозящей лебедкой показано на рис. 16. Лебедка расположена под палубой около трапа так, что ее может обслуживать яхтсмен, стоящий за штурвалом.

Яхты со скуловыми килями непопулярны вследствие своей тихоходности. Во-первых, ограниченная осадка и, как следствие, малое заглубление балласта точно так же ограничивает способность этих яхт нести паруса, как и у швертбота или яхты-компромисса. Во-вторых, один из боковых килей оказывается (хотя и редко) в гидродинамической тени — согласно теории, сегодня признанной неверной. Однако наветренный киль тоже нередко поднимается из воды и вследствие этого сопротивление воды движению вперед в эти моменты сводит на нет выигрыш, который дают скуловые кили в сопротивлении дрейфу. Скуловой киль не только прикрывается корпусом, но и вследствие расположения под углом к ДП корпуса, чаще всего применяемого на практике, на подветренной стороне корпуса оказывается малоэффективным.

Иногда боковые кили применяют совместно с длинным средним килем, на котором закреплен балласт. При этом скуловые кили устанавливают немного позади среднего киля и с наклоном к вертикали наружу под углом 15—20° (рис. 17). В случае крена средний киль оказывает все меньшее сопротивление, а действие подветренного скулового киля возрастает. При правильном конструктивном исполнении благодаря этому смещению центра бокового сопротивления широкие суда оказываются сбалансированными так, что они даже при сильных шквалах не приводятся к ветру.

### 1.6.6. Остойчивость и непотопляемость

При оценке *остойчивости* яхты можно предположить, что остаточная остойчивость массы при крене 90° является самым значительным показателем остойчивости, к которому можно затем относить факторы динамического воздействия внешних сил. Наглядно это можно представить так (рис. 18). Корпус яхты принимают за цилиндр, который не имеет остойчивости формы и вращается вокруг центра $D$, расположенного на половине высоты надводного борта, если судно гладкопалубное. Если речь идет о яхте с баком или развитой надстройкой, борта которой завалены не более чем на 30° к вертикали, то дополнительный запас плавучести учитывают в определении положения точки поворота $D$. В этом случае определяют **длину надстройки** — бака в процентах к общей длине судна

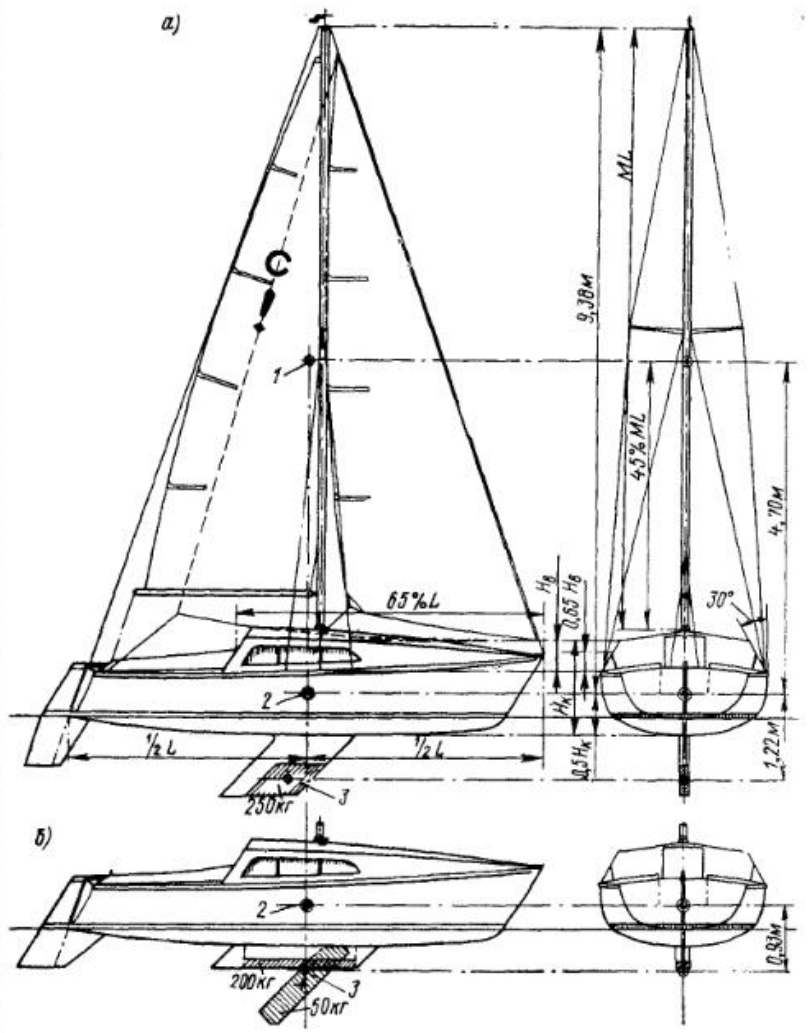



Рис. 18. Схема для оценки остойчивости яхты «Контра» с комплектом нормальных парусов. Центр парусности расположен на расстоянии 45% длины мачты снизу. Масса такелажа рассчитывается детально или взвешиванием (при правильно подобранном такелаже его масса равна

и на столько же процентов увеличивают высоту надводного борта. Предполагается, что точка $D$ лежит на половине «исправленной» высоты борта. Относительно этой условной точки поворота находят кренящие или восстанавливающие моменты основных действующих сил.

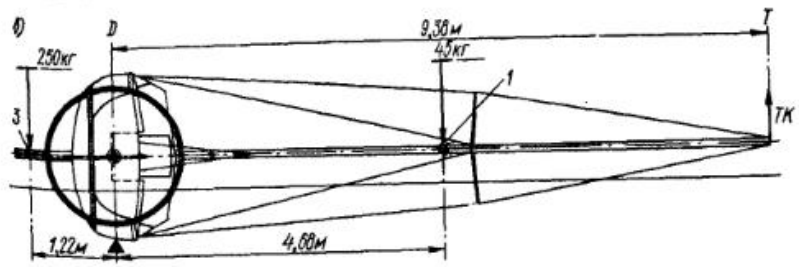
Для определения кренящих моментов учитывают массу и расстояния от точки $D$ центров тяжести надстроек, рангоута, такелажа и парусов. При расчете восстанавливающих моментов принимают во внимание массы и расстояния от этой точки по вертикали центров тяжести балластного киля и низко расположенного двигателя. При частичном заполнении свинцом плавника киля подсчитывают только массу свинца, а не массу металлической обшивки киля или дейдвуда.

Утолщения обшивки днища можно также рассматривать как балласт. Содержимое цистерн учитывают только в том случае,

*Таблица 1*

**Показатели остойчивости яхты «Контра»**

| | Характеристики | «Контра-1» (вариант с постоянным килем) | «Контра-2» (компромисс) |
|---|---|---|---|
| Такелаж | Масса, кг | 45 | 45 |
| | Плечо, м | 4,68 | 4,68 |
| | Момент, кг·м | 210 | 210 |
| Балласт | Масса, кг | 250 | 250 |
| | Плечо, м | 1,22 | 0,93 |
| | Момент, кг·м | 305 | 232 |
| | Восстанавливающий момент, кг·м | +305 | +232 |
| | Кренящий момент, кг·м | −210 | −210 |
| | Остаточный момент, кг·м | +95 | +22 |




примерно 2,5 массы профиля мачты): *а* — вариант килевой яхты; *б* — вариант яхты-компромисса; *в* — расчетная схема сил при крене 90°.
*1* — центр парусности; *2* — центр тяжести корпуса; *3* — центр тяжести фальшкиля

если его центр тяжести лежит выше точки *D*. Положительное влияние содержимого цистерн на восстанавливающий момент в принципе не учитывают, так как цистерны могут быть и пустыми. Остойчивость яхты с выдвижным килем нужно рассчитывать в положении с поднятым килем (рис. 19 и 20).

В качестве иллюстрации в табл. I приведены значения восстанавливающих и кренящих моментов для яхты «Контра».

Положительные остаточные моменты, рассматриваемые в этом сравнительном расчете как восстанавливающие моменты, являются критерием для оценки остойчивости яхты в зависимости от ее размеров и района плавания. Рис. 21 может служить основой для оценки остойчивости яхт по величине остаточных моментов. Разумеется, остаточные моменты, определенные из сравнительного расчета, нельзя сравнивать с данными, замеренными при кренировании яхты, или с данными, полученными из полного расчета статической остойчивости.

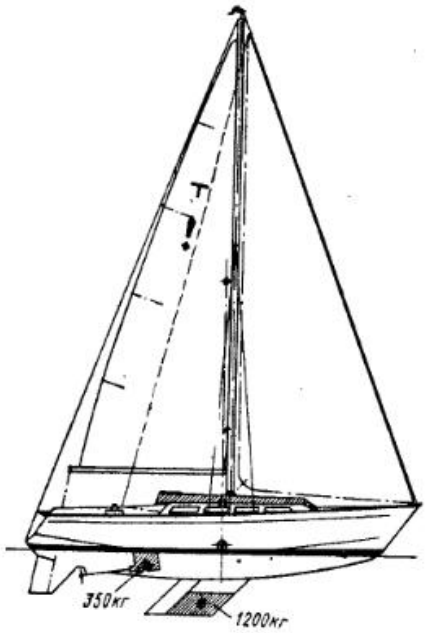



Рис. 19. 10-метровая килевая яхта типа «Таранга» может считаться нормальным вариантом килевой яхты с рубкой. При расчете остойчивости надо учитывать обозначенные на рисунке массы и положение их центров тяжести.

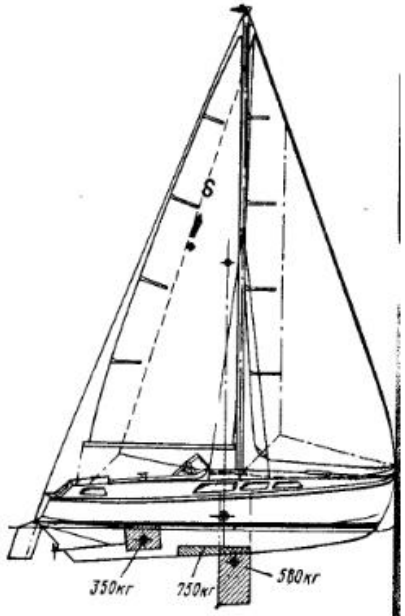



Рис. 20. Остойчивость яхты «Секура» с подъемным килем может быть рассчитана на случай убранного киля точно так же, как для нормального плавания с опущенным килем. Дополнительный внутренний балласт обеспечивает абсолютную остойчивость и при поднятом выдвижном киле.



Граничные кривые на рис. 21 позволяют сделать предварительный вывод об остойчивости судна для плавания в морских районах (категории *3* и *4*) или в открытом море (категории плавания *1* и *2*).

На примере проекта яхты «Контра», приспособленной для перевозки на трейлере, построенной с учетом экономии массы и размерений, можно заключить, что только вариант I является достаточно остойчивым для категорий плавания *3* и *4* (т. е. для прибрежного).

Вариант 2 с таким же балластом массой 250 кг, но с более коротким плечом выдвижного киля и его относительно небольшим положительным остаточным моментом (только 22 кг·м) не имеет запаса остойчивости, необходимого для мореходного судна. Чтобы этот вариант сделать остойчивым, нужно добавить добрые 100 кг свинцового балласта к имеющимся 250 кг, что и предусмотрено в конструктивных чертежах для точно такой же яхты, но с центральным балластным килем и скуловыми килями, и для яхты с удлиненным плоским килем.

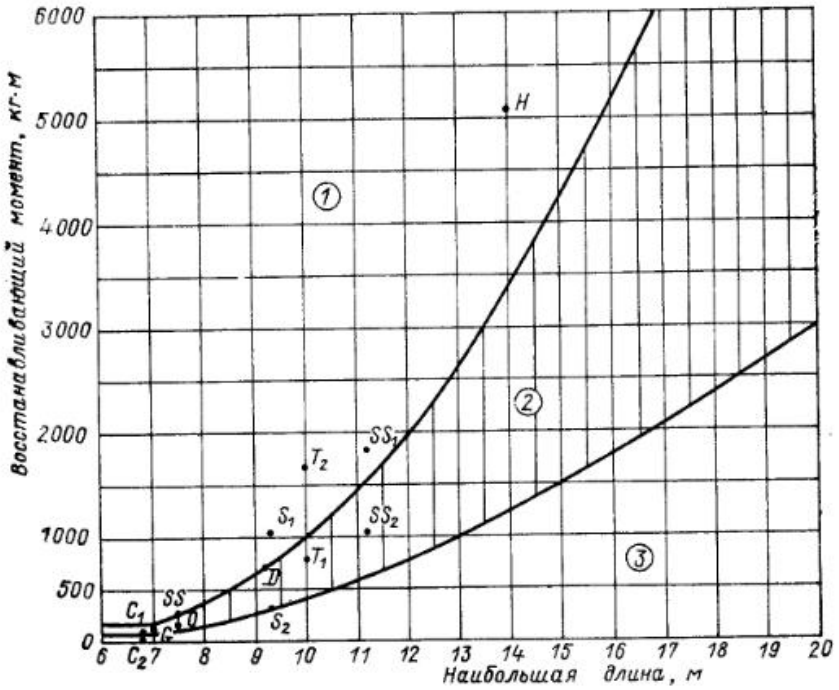



Рис. 21. Зависимость остойчивости яхт от их длины и района плавания.
*1* — яхты неограниченного района плавания (категории 1 и 2); *2* — яхты морского плавания (категории 3 и 4); *3* — яхты с ограниченной остойчивостью (немореходные яхты).

Не только яхты облегченной конструкции нередко не удовлетворяют требованиям минимальной остойчивости, но и более крупные яхты с развитым и тяжелым такелажем, влияние которого на остойчивость яхты при крене 90° часто недооценивают.

Есть еще большое количество крейсерских швертботов, остаточный момент остойчивости которых отрицательный. Знание этого позволяет яхтсмену с опытной командой десятилетиями плавать без опрокидывания. Особой опасности подвергаются неопытные яхтсмены, получившие во владение яхту, которая по данным проспекта является «чрезвычайно остойчивой» или даже «неопрокидываемой», так как «это обеспечивается долей балласта во столько-то процентов от водоизмещения».

В яхтостроении, однако, нужны ясные технические факты, а не расплывчатые формулировки. Предлагаемый сравнительный метод расчета представляется автору реальной основой для статической оценки остойчивости яхты.

*Непотопляемость* как качество остойчивой и мореходной килевой яхты на первый взгляд определить просто: заполненная водой яхта плавает или не плавает. В принципе это, конечно, правильно. Несмотря на это, по данному вопросу было много острых дискуссий и прежде всего в североевропейских странах.

Яхта, которая в затопленном состоянии держится на поверхности воды, может представлять опасность для судоходства. Если в таком состоянии ее подъемная сила оказывается немного ниже массы, яхта тонет очень медленно и находится, смотря по обстоятельствам, в неустойчивой нулевой плавучести. В шторм и сильное волнение судно может временами появляться на поверхности и вызывать непредвиденные инциденты. Если яхта немного тяжелее, то она опускается на жесткий грунт, где под действием больших волн ее корпус разбивается в щепки.

И как бы это ни звучало парадоксально, органы по надзору за безопасностью мореплавания и даже страховые общества выступают за то, чтобы заполненная водой вследствие повреждения яхта с гарантией затонула. С помощью пластикового буйка и буйрепа можно обозначить место затопления яхты и в дальнейшем облегчить ее подъем. Этим исключается и возможность повреждения других судов, которые могли бы столкнуться с оставшейся на плаву яхтой.

Сделать килевую яхту вполне непотопляемой, в противоположность небольшим парусным судам, не имеющим балласта,— почти неразрешимая конструктивная задача. Для килевых яхт с корпусом из металла или пластмассы, начиная с длины 7 м, обеспечить их непотопляемость, не уменьшая внутреннего пространства корпуса, необходимого для размещения бытового оборудования, кажется делом бесперспективным. Необходимый



тонны. Естественно, что многие владельцы малых судов старались заказывать новые суда, имеющие размеры, близкие к указанным.

Позже были организованы первые регаты однотонников, которые пользовались большой популярностью. Тогда и зародилась мысль проводить парусные гонки без гандикапа. Так как формула темзинского тоннажа могла объективно оценить вместимость корпусов определенного типа (барж), появились ловкие строители, которые выполняли свои баржи более легкими и стройными. Они были быстроходнее старых и неуклюжих однотонников, и применение обмерной формулы привело тогда к быстрому развитию парусной техники в пользу более скоростных судов

Сегодня яхтсмены и конструкторы пользуются всемирно известной формулой IOR, которая объективна, но в то же время и очень сложна. Развитие этой формулы происходит в борьбе между Комитетом, состоящим из более или менее квалифицированных создателей формулы, и конструкторами, которые находят в ней новые лазейки для того, чтобы обеспечить своим яхтам преимущества в гоночных качествах. Только немногие из конструкторов не следуют этой тенденции и ставят во главу угла физические основы конструирования, а не ухищрения с обмерной формулой. Спроектированные ими яхты обладают абсолютной быстроходностью или являются компромиссным решением.

Комитет обмерных правил время от времени должен «топать лазейки» в Правилах обмера яхт. Только недавно третья редакция формулы IOR Mark III заставила переобмерить тысячи яхт. В большей мере это коснулось сторонников классов яхт с фиксированной величиной гоночного балла: четвертьтонников, полутонников, однотонников и пр. Эти яхты следует весьма существенно перестраивать, перевооружать и переоснащать для того, чтобы они хотя бы приблизились к уровню современных яхт, спроектированных с помощью компьютеров.

Другой недостаток формулы обмера, по крайней мере для специалистов-конструкторов яхт, еще более значителен: конструктивные усовершенствования, которые влияли бы положительно на скорость и поведение судна на волне, так сильно штрафуются Правилами IOR, что от их использования в новых проектах приходится отказываться. Вот несколько примеров.

1. Широкий пузатый корпус с острой кормой считался в прошлые годы эталоном для крейсерско-гоночной яхты. Многие уже думали, что принцип проектирования «длина бежит» окончательно устарел. То, что успехи некоторых «беременных устриц» были обусловлены только относительно более высокой скоростью, определенной по обмерной формуле, забыли. Вспомнили об этом только после успехов более узкой яхты «Ганбарре» неизвестного тогда Петерсона, сверхузких яхт Бриттона

Ченса и элегантных яхт австралийского конструктора Боб Миллера. О том, что при одинаковых затратах на постройк узкое судно фактически быстроходнее, идет круче к ветру имеет более благоприятное поведение на волнении, чем широ кое, многие конструкторы, работающие по формуле IOR просто забыли.

2. Сужение корпуса на транце, продиктованное необходи мостью уменьшения кормового охвата корпуса, является при чиной существенного роста вихревого сопротивления воды дви жению яхты уже при средних скоростях. Применением боле плоских сечений днища в корме в сочетании с правильно скон струированным кормовым скегом можно получить более высо кие скорости при тех же затратах.

3. Широкое плоское днище на миделе с завалом бортов палубе становится при сильном крене причиной сильно рыскливости и приведения яхты к ветру. Только некоторы конструкторы исследуют эти отрицательные явления. Дл остальных главным является тот факт, что увеличение ширин $B$ приводит к снижению гоночного балла IOR.

4. Экономичная выпуклая (карапасная) палуба входит согласно формуле, в обмеры корпуса и поэтому для любителе выжимать из формулы все возможное не представляет интереса

5. Более широкий транец с относительно $U$-образными шпангоутами обеспечивает необходимую остойчивость форм без излишнего уширения яхты по мидель-шпангоуту. Так ка обводы кормы сильно влияют на быстроходность яхт (в абсо лютном понятии скорости), то они сильно штрафуются форму лой IOR.

6. Бесспорно, что глубокий узкий киль дает для парусно яхты большие преимущества. Также известно, что на практик для большинства фарватеров излишняя осадка яхт — явлени нежелательное. Рациональное решение может быть найдено применении балластного шверта, занимающего почти вертикаль ное положение при плавании и убирающегося в корпус пр касании о грунт. Однако формула IOR классифицирует тако киль как перемещающийся балласт и запрещает его примене ние для яхт, хотя перемещение центра тяжести балласта в про дольном направлении судна едва ли дает преимущество дл парусной яхты.

7. Аналогичные нелепые решения можно найти и в оснаст ке. После неразумно узких гротов, применявшихся на яхта построенных по правилам RORC, теперь появилась тенденци к использованию оснастки типа 7/8 или 3/4. Вместо целесо об разного топового вооружения это означает вновь применени громоздких контрштагов и бакштагов. Теоретически площад парусов можно удвоить без штрафа, если предусмотреть ста сель, устанавливаемый достаточно низко на мачте. Прекрасны трюк, а как рациональны!



Перечисление подобных примеров можно было бы продолжить. Однако попытаемся продемонстрировать влияние обмерных формул на двух крайних примерах: две 11-метровые яхты, обе с одинаковой высотой такелажа над ватерлинией, обе примерно с одинаковыми надстройками, что, как известно, существенно определяет затраты на постройку, имеют совершенно различный гоночный балл по формуле IOR, а именно 23 и 31,5 футов. Первая яхта, следовательно, почти однотонник, а другая — почти двухтонник! При рассмотрении проекта первой яхты можно говорить о полном восприятии конструктором формулы IOR (рис. 23). Эта яхта имеет сравнительно большую площадь парусности: 41 м² (грот + передний треугольник) и обмерную ширину корпуса $B = 4$ м — типичные значения для «выжимателя формулы» IOR! Малая удельная

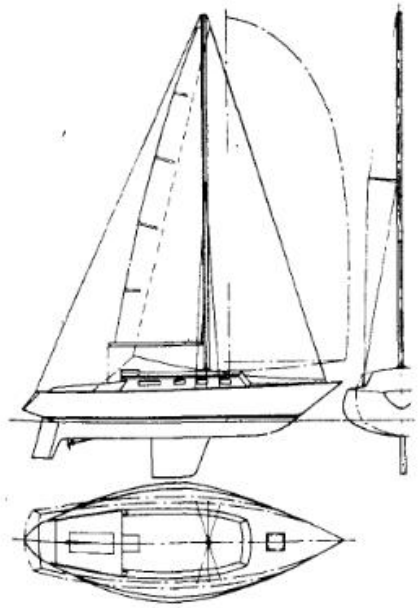


Рис. 23. Проект яхты, созданный по формуле IOR, воспринятый как чрезвычайный «выжиматель формулы» со сверхширокими корпусом.
Основные данные: наибольшая длина 11,00 м; длина по КВЛ 8,10 м; ширина 4,00 м; водоизмещение 7,0 т; осадка 1,80 м.
Площадь парусности (грот и передний парусный треугольник) 41 м²; удельная площадь парусности 1,35. Балл по правилам IOR — около 23 футов.

Рис. 24. Проект глиссирующей моторно-парусной яхты с узким корпусом (ширина ограничена по условиям транспортировки).
Основные данные: наибольшая длина 11,00 м; длина по КВЛ 9,40 м; ширина 3,00 м; осадка со швертом/корпусом 1,90/0,80 м; водоизмещение 6,5 т. Площадь парусности (грот и передний треугольник) 53 м²; удельная площадь парусности 2,17. Балл по правилам IOR — около 31,5 фута.

площадь парусов относительно площади ватерлинии — только 1,35 м² на каждый квадратный метр прямоугольника $L \times B$ — дает сверхостойчивое и недогруженное парусами судно, которое имеет шансы на успех в гонках только в шторм при попутном ветре. Абсолютную же скорость этой яхты относительно ее размерений можно оценить как ничтожную. Так же следует оценить и поведение этой пузатой яхты в море (на волне) и ее лавировочные качества.

Вторая яхта (рис. 24) представляет собой глиссирующее моторно-парусное судно. Сильно растянутая действующая длина яхты по ватерлинии, оптимальная для сверхкритического режима водоизмещающего плавания, широкий транец, необходимый для плавания в переходном к глиссированию режиме, относительно небольшая ширина (3 м) для экономичного плавания под мотором — все эти особенности отличают данный проект от нормальных соотношений двухтонника (табл. 2). Вместо в среднем 73 м² площади парусов двухтонника эта специальная яхта несет примерно 53 м², т. е. удельная площадь парусности получается равной 2,17 м² на каждый квадратный метр прямоугольника ватерлинии. С учетом широкой кормы судна это относительно тяжелое вооружение в данном случае допустимо.

*Таблица 2*

**Ориентировочные размерения крейсерско-гоночных яхт по правилам IOR**

| Класс яхты | Гоночный балл IOR | | Наибольшая длина, м | Длина по КВЛ, м | Ширина, м | Водоизмещение, т | Площадь парусности, м² |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | футы | м | | | | | |
| | 16,0 | 4,80 | 6,50 | 5,00 | 2,30 | 1,20 | 18 |
| Четвертьтонник | 18,0 | 5,50 | 7,60 | 5,80 | 2,60 | 1,80 | 24 |
| Полутонник | 21,7 | 6,60 | 9,20 | 6,90 | 2,90 | 3,30 | 35 |
| 3/4-тонник | 24,5 | 7,47 | 10,40 | 7,80 | 3,20 | 4,80 | 45 |
| Однотонник | 27,5 | 8,38 | 11,40 | 8,70 | 3,50 | 6,80 | 58 |
| Двухтонник | 32,0 | 9,75 | 12,80 | 10,20 | 3,80 | 9,50 | 73 |
| | 40,0 | 12,20 | 15,80 | 12,80 | 4,20 | 16,00 | 105 |
| Неклассные яхты | 50,0 | 15,24 | 18,60 | 15,50 | 4,80 | 24,00 | 150 |
| | 70,0 | 21,34 | 24,00 | 21,00 | 6,00 | 36,00 | 230 |

Под парусами это абсолютно быстроходное судно, которое показывает свое преимущество прежде всего при слабом ветре на острых курсах и при среднем ветре на курсах галфвинд и фордевинд, но почти не имеет шансов выиграть в гонках, проводимых с гандикапом по правилам IOR, у «выжимателей формулы» типа изображенного на рис. 23.

Может ли формула IOR или какая-нибудь другая обмерная формула учесть такие крайние индивидуальности проекта, чтобы полностью уравнять шансы на победу в гонках с гандикапом? Очевидно, на этот вопрос можно ответить лишь отрицательно. О каком техническом прогрессе в яхтостроении может идти речь, если на практике любая формула обмера предопределяет тип яхты и малейшие отклонения в пользу абсолютной скорости жестко штрафуются? Тормозит ли, следовательно, формула IOR развитие яхтостроения? Бесспорно, и сегодня существует большая опасность, что удачные во всех отношениях проекты из-за опасения получить слишком высокий гоночный балл появляются все реже, хотя их можно осуществить с такими же или даже меньшими затратами. Проект яхты, изображенный на рис. 24, не является, конечно, рецептом для рациональной конструкции. Здравый смысл, наоборот, подсказывает разрабатывать для яхт специального назначения индивидуальные проекты, не допуская сильного влияния на них обмерной формулы. «Специальное назначение» чаще всего обусловлено недостатком свободного времени у яхтсменов — представителей среднего класса общества, а также длинным путем, который яхта должна пройти к району плавания. Глиссирующая парусно-моторная яхта преодолевает эти расстояния со скоростью 12—15 уз и таким образом получает возможность полноценного плавания под парусами в избранном районе. Такой современный проект, однако, имеет чрезмерно высокий гоночный балл по формуле IOR.

С решением этой дилеммы можно не торопиться, так как владельцу подобной глиссирующей моторно-парусной яхты вряд ли придет в голову мысль участвовать в гонках с обмером по правилам IOR. Ведь он вложил свои деньги в технически полезные составляющие проекта: в балластный киль или подъемный шверт, обеспечивающие стоянку в мелководных гаванях или на рейдах, и в более мощный двигатель, необходимый для получения высокой скорости на переходах и для безопасности в аварийных ситуациях. Все это не может принести данному судну преимущества в скорости под парусами и даже штрафуется высоким гоночным баллом или запретом по правилам IOR. У владельца такого рационального судна за неимением денег отсутствует на яхте большинство из якобы минимально необходимых (по IOR) 16 передних парусов полного комплекта вооружения, включая спинакер (см. стр. 311). Вместо необходимой для гонок хорошо тренированной команды в его распоряжении находятся только жена и дети. Поэтому плавает он чаще всего с туристским вооружением без спинакера, которое экономит силы и средства семьи (см. стр. 316). При таких неравных условиях владелец данной яхты едва ли выйдет на старт регаты вместе с гоночными яхтами, специально построенными и оснащенными для этой цели по правилам IOR.

Сотни и тысячи владельцев яхт размерений четвертьтонников и полутонников даже не проводили обмера своих судов, так

Как знают, что против новейших проектов, оптимизированны по правилам IOR и оснащенных большим количеством пар сов, они не имеют никаких шансов на успех в гонках. Поэто развитие «тонников» по правилам IOR является уделом лиш немногих яхтсменов-профессионалов и полупрофессионалов большими деньгами. По сравнению с другими видами спорт в которых наряду с требованием рекордов много сделано та же для развития их массовости, морские плавания под пар сами в этом направлении имеют чрезвычайно мрачны перспективы.

Маленькая клика зажиточных честолюбцев выигрыва регаты уже на чертежной доске, заставляя конструктор выискивать лазейки в обмерной формуле. А попытки устр нить эти лазейки приводят к частым изменениям формул IOR (IV, V, VI редакции и так далее со всеми вытекающим отсюда расходами и хлопотами судовладельцев). Формул обмера, таким образом, не стимулирует дальнейшего развити в проектировании яхт. Решение проблемы можно найти в п стройке монотипов в сочетании с применением систем «Ярдстик».

# ГЛАВА 2. ТИПОВЫЕ ПРОЕКТЫ ЯХТ

## 2.1. ЕВРОПЕЙСКИЕ МОНОТИПЫ.

Тенденция к постройке монотипов проявилась связи с развитием серийного строительства яхт. Большинст строителей, правда, к основному варианту готовой яхты почт всегда предлагают дополнительное вооружение и оборуд ва ние, что практически не позволяет обеспечить строгую о типность всех яхт данного класса, выпущенных верфью. Э практику большинство покупателей рассматривает как обы ный обманный маневр, так как действительная цена полност оснащенной яхты часто на довольно значительную сумму пр вышает основную или рекламную цену. Пока такая практик существует, соответствующий тип яхт рассматривают к монотип.

В последние годы выяснилось, что яхты, относящиеся классу швертботов и небольших килевых яхт, поставленные полной цене с подробной инструкцией классов, запрещающе любую переделку, которая создает преимущества, очень поп лярны у потребителя. За несколько лет были построены много тысячи таких судов. Для большинства яхтсменов они имею колоссальное преимущество: доступную цену, так как любу



деталь оборудования и оснастки можно изготовить по идентичным чертежам и в любых количествах. Нет никаких причин, препятствующих подобному развитию классов более крупных морских яхт.

Опытные конструкторы в содружестве с мощными верфями-поставщиками доказали в последние годы, что они «держат руку на пульсе яхтсмена» и создают яхты, которые успешно распространяются. Это объясняется тем простым фактом, что конструктор и поставщик кровно заинтересованы в распространении своих созданий.

Нередко высказывается опасение, что относительно немногочисленные классы яхт, получившие широкое распространение, могут создать дополнительные трудности при отборочных соревнованиях на чемпионаты. Это опасение становится тем вернее, что на другие национальные классы яхт большой стоимости, например «Темпест» и «Контендер», спрос упал. Другие классы яхт хотя конструктивно и хороши, но высоки в цене. Только те яхты сегодня могут развиваться в распространенный класс-монотип, которые удачны по конструкции, хороши по качеству и вместе с тем доступны по цене. С другой стороны, национальные парусные союзы могут координировать развитие

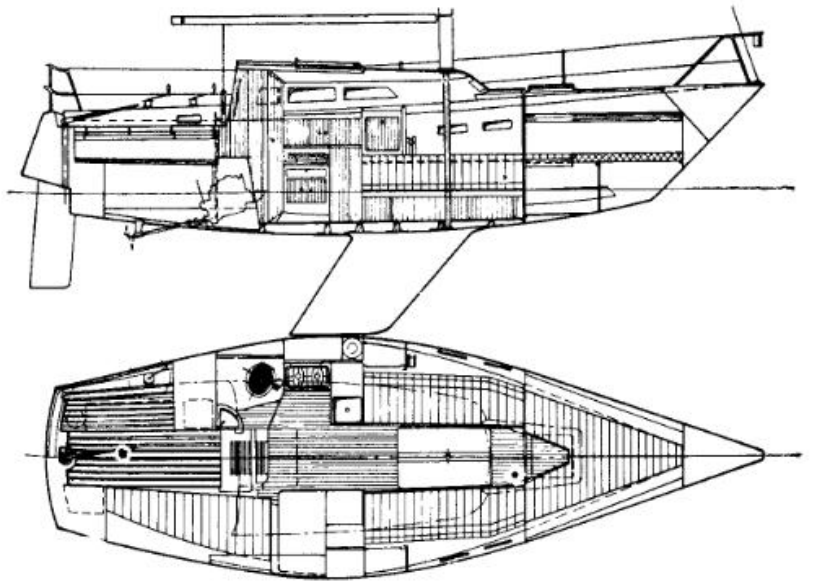


Рис. 25. Общее расположение яхты-монотипа «Пион».
Основные данные: наибольшая длина 9,05 м; длина по КВЛ 7,10 м; ширина 2,93 м; осадка 1,66 м, водоизмещение 3,80 т.
Балласт 1,53 т.
Площадь парусности около 38 м².

отдельных классов. Например, Королевская парусная асс
циация Дании поручила одному из самых опытных в Европ
конструкторов яхт Ван де Штадту создать проект яхты-моно
типа в размерах полутонника, которая могла бы участвова
в гонках по правилам IOR как полутонник или как моноти
в гонках без гандикапа. Эта современнейшая яхта-монотип
называемая «Пион», уже получила широкое распространени
(рис. 25).

В инструкциях яхт этого класса точно определен и ограни
чен объем оснастки и оборудования. Установлено, например
число и покрой парусов; разрешены только один грот, один
трисель, одна генуя № 1, одна генуя № 2, один стаксель, один
штормовой стаксель, один подспинакерный стаксель, два спи
накера (рис. 26). Размеры всех парусов занесены в мерительн
ное свидетельство. В случае замены любой парус вновь обме
ряют и заносят в мерительное свидетельство. Регистровы
номер старого паруса становится недействительным и пару
убирают с яхты. Хотя правила допускают подобную замен
парусов, однако каждый владелец имеет всегда равное коли
чество парусов на борту яхты. Подобный путь ограничени
оснастки правилами класса является непременным условие
монотипа.

## 2.2. СЕРИЙНЫЕ ЯХТЫ И ЯХТЫ ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПОСТРОЙКИ

Классы монотипов можно развивать на основ
постройки яхт большими сериями. Единичная постройка п
причине высокой стоимости яхт быстро утрачивает свои пози
ции: даже расходы на проект
рование и детальную разработк
чертежей не оправдываются
этом случае. Рациональное ре
шение состоит в разработке ти
повых проектов для серийной по
стройки. При таких услови
конструктор является центра
ной фигурой: он отдает верф
лицензию на постройку и пре
принимает первую регистрацию

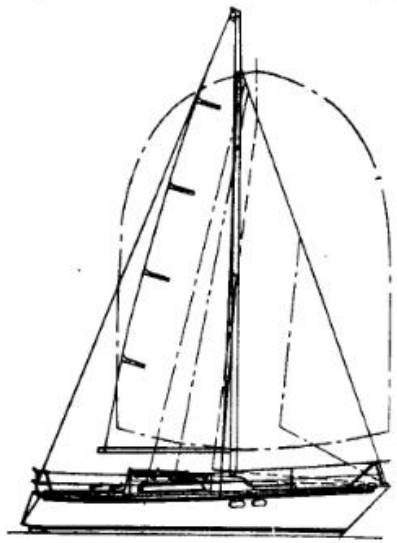


Рис. 26. Схема парусности яхты «П
грот — 19 м²; генуя № 1 — 28,9 м²
нуя № 2 — 24,7 м²; стаксель №
18,6 м²; стаксель № 2 — 12,5 м²; ш
мовой стаксель — 6,4 м²; толлб
12,1 м²; спинакер — 62 м²; рнч
29,1 м².



числа меняются в случае, когда вносятся конструктивные усо-
ершенствования, влияющие на скорость яхты. При таких
словиях надо вновь начинать с пробного числа «Ярдстик»
подтверждать измененную скорость во многих сравнительных
онках. Для яхт-монотипов этого делать не надо.

## 2.4. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТОВ ЯХТ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТОРОВ

Есть конструкторы яхт, свободные от колебаний
оды. Они находят свой конструктивный тип судна и в тече-
ие долгих лет доводят его до технического совершенства.
Рассмотрим проекты яхт некоторых конструкторов, о кото-
ых можно сказать, что они нашли свою собственную линию.

### 2.4.1. Ван де Штадт: «Спанкер»

**Основные данные**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м | 12,87 |
| Длина по КВЛ, м | 10,00 |
| Ширина, м | 3,72 |
| Осадка, м | 2,18 |
| Водоизмещение, т | 9,85 |
| Площадь парусности, м² | 75 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 2,44 |

Голландец Ван де Штадт считается одним из самых
опытных и последовательных конструкторов. Он спроектировал
ряд удачных яхт с остроскулыми обводами и работает над
проектами быстроходных крейсерско-гоночных яхт, парусно-
моторных яхт и туристских судов. Ван де Штадт — один из
немногих конструкторов, кото-
рые не все поставили на кар-
ту формулы IOR.

«Спанкер» — крейсерско-го-
ночная яхта, которая любите-
лей восхищает, а специалистов
удивляет сочетанием опти-
мального распределения водо-
измещения по длине с элеган-
тными обводами носовой час-
ти и исключительно стройны-
ми свесами (рис. 31—33).

Линии рыбин в корме очень
плоские и поэтому обводы
благоприятны для движения

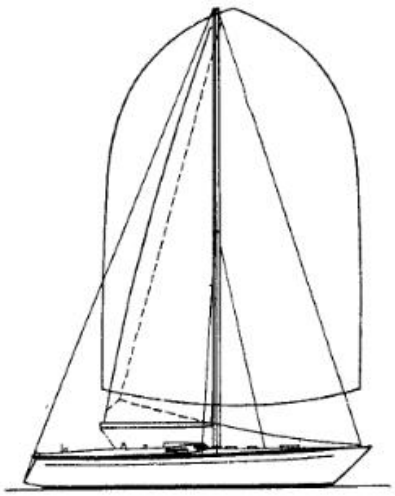


Рис. 31. Схема парусности яхты «Спанкер».

в режиме серфинга. Стройные острые обводы носовой час обеспечивают мягкое всплытие на волну, чему также способс вуют плавные параболической формы обводы шпангоутов. М дель-шпангоут имеет комбинированный обвод трапецеидальн го и радиального типа с соответственно уменьшенной смоче ной поверхностью корпуса.

Удачный компромисс — вот основной принцип в очертан любой детали яхты. Это можно сказать и о вытянутом корм вом скеге с умеренным водоизмещением, благодаря которо стекающий с корпуса поток воды не оказывает тормозящег вихревого эффекта. Конечно, строевая по шпангоутам не т совершенна, как хотелось бы иному конструктору, желающе удлинить эффективную длину по ватерлинии. Нет также усл вий для отрыва потока, необходимого для высоких скорост

Большое расстояние между килем и рулем обеспечива высокую устойчивость на курсе. Отказ от глубокого скега гов рит о полном доверии конструктора принципу балансир ног руля, применяемого им с 1945 г., с помощью которого при пр вильной организации притока воды на всех курсах и при лю бой силе ветра достигается лучшая устойчивость на курсе, че у яхт с длинными килями и навесными рулями. Благодар солидному балласту, составляющему 45% водоизмещения, большой осадке можно ожидать хороших ходовых качес яхты в бейдевинд, особенно в сильный ветер. Значительна площадь парусности и небольшая смоченная поверхность кор пуса, имеющие решающее значение для скорости при слабо ветре, обеспечивают и в этих условиях хорошие результ ты

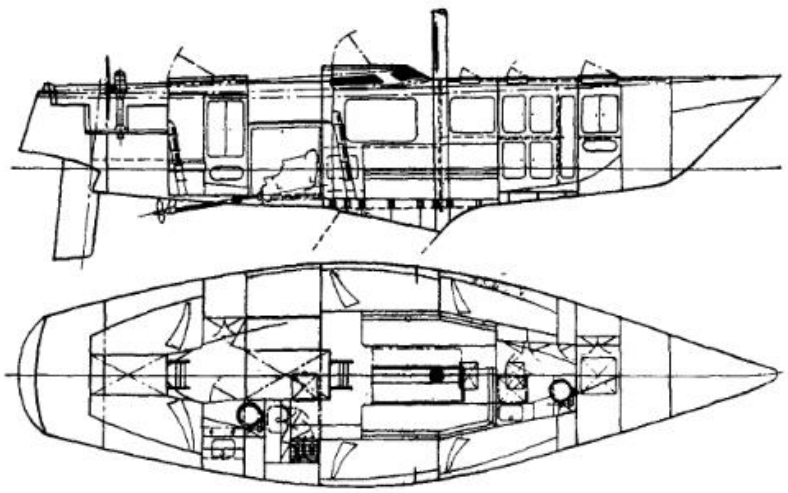


Рис. 32. Схема общего расположения яхты «Спанкер».

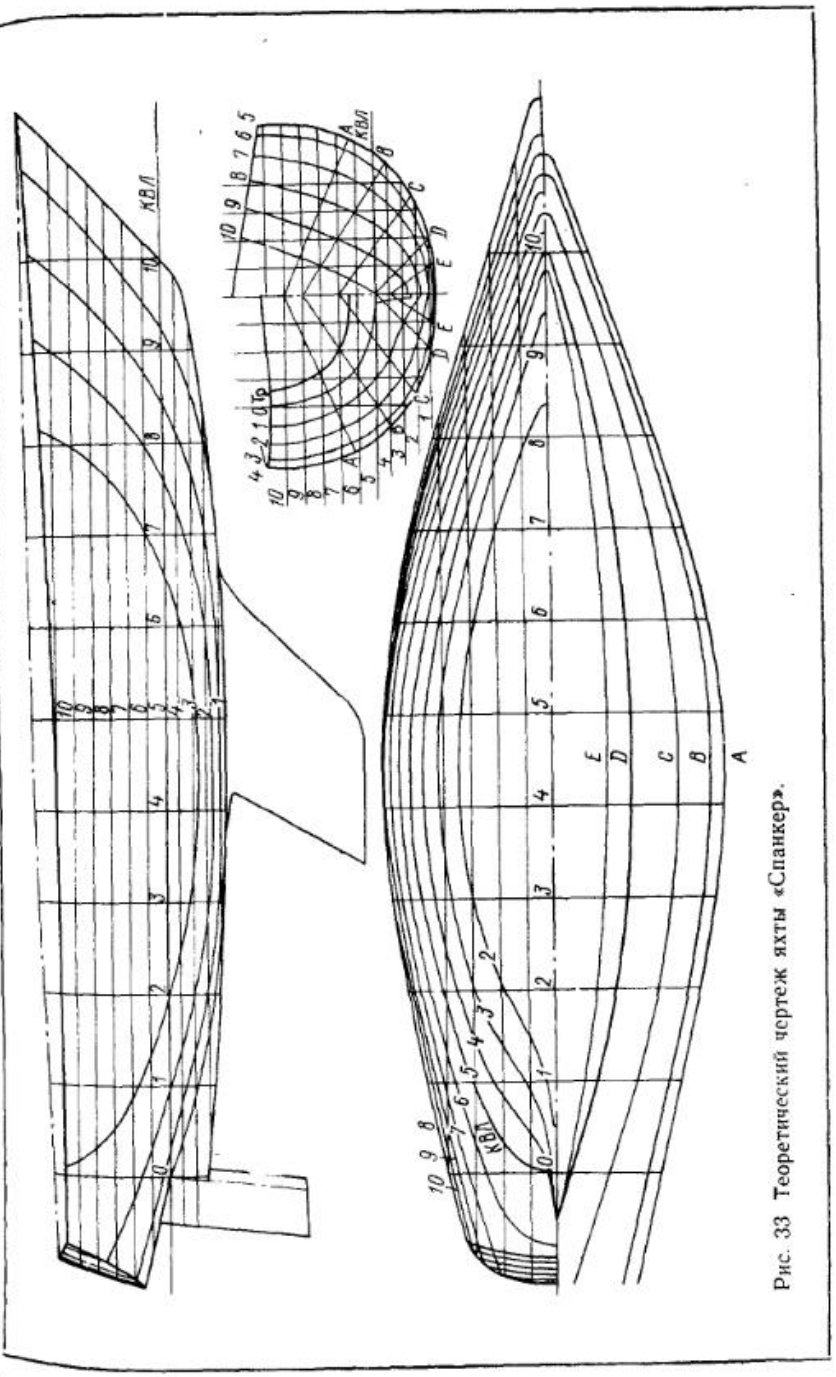



Рис. 33 Теоретический чертеж яхты «Спанкер».

Парусное вооружение с относительно узким гротом являе
маленькой уступкой самому благоприятному обмеру по I
как и небольшой изгиб обвода мидель-шпангоута выше ва
линии, который несколько увеличивает обмерную шири
Триммер на задней кромке киля, изобретенный Ван де Шт
том в 1945 г., здесь больше не применяется, так как шт
по правилам IOR слишком велик. В данном случае обмер
формула способствует снижению затрат на постройку и уп
щению конструкции яхты.

Ван де Штадт не является приверженцем формулы,
было доказано его выходом из технического комитета OR
несколько лет тому назад. Он делает все необходимое, чт
снизить гоночный балл проектируемых яхт, и сожалеет,
формула препятствует ему создавать еще более быстроход
суда. Занимаясь с 1930 г. проектированием яхт, Ван де Шт
не относится, конечно, к звездам среди конструкторов я
которые как быстро восходят, так и быстро исчезают. Года
упорной работы он пробивал свои прогрессивные проек
и сконструировал свыше 100 яхт. Ему удалось добиться усп
в 1951 г. в Фастнетской гонке со своей яхтой «Зеевалк», п
вой яхтой с остроскулыми обводами, построенной по правил
обмера RORC и имеющей облегченную конструкцию. Разде
ное расположение киля и руля и дифферентовочный закры
киля — триммер были впоследствии приняты Р. Картером
использованы на суперширокомм «выжимателе формулы»
однотоннике «Тине».

### 2.4.2. Бриттон Ченс младший: «Ченс-32/28»

**Основные данные**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м . . . . | 9,75 |
| Длина по КВЛ, м . . . . . | 8,45 |
| Ширина, м . . . . . | 3,05 |
| Осадка, м . . . . . | 1,88 |
| Водоизмещение, т . . . . . | 5,6 |
| Масса фальшкиля, т . . . . . | 2,15 |
| Площадь парусности, м² . . . | 42,5 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 1,98 |

Все направления в проектировании яхт, ко
придерживается американец Бриттон Ченс, отражены в
проекте. С середины 1971 г. конструкция не претерпева
щественных изменений. До этого носовая часть яхты
несколько бо́льшую осадку.

Ченс систематически разрабатывал характерные обво
своих яхт с помощью компьютера и буксировочных испыта

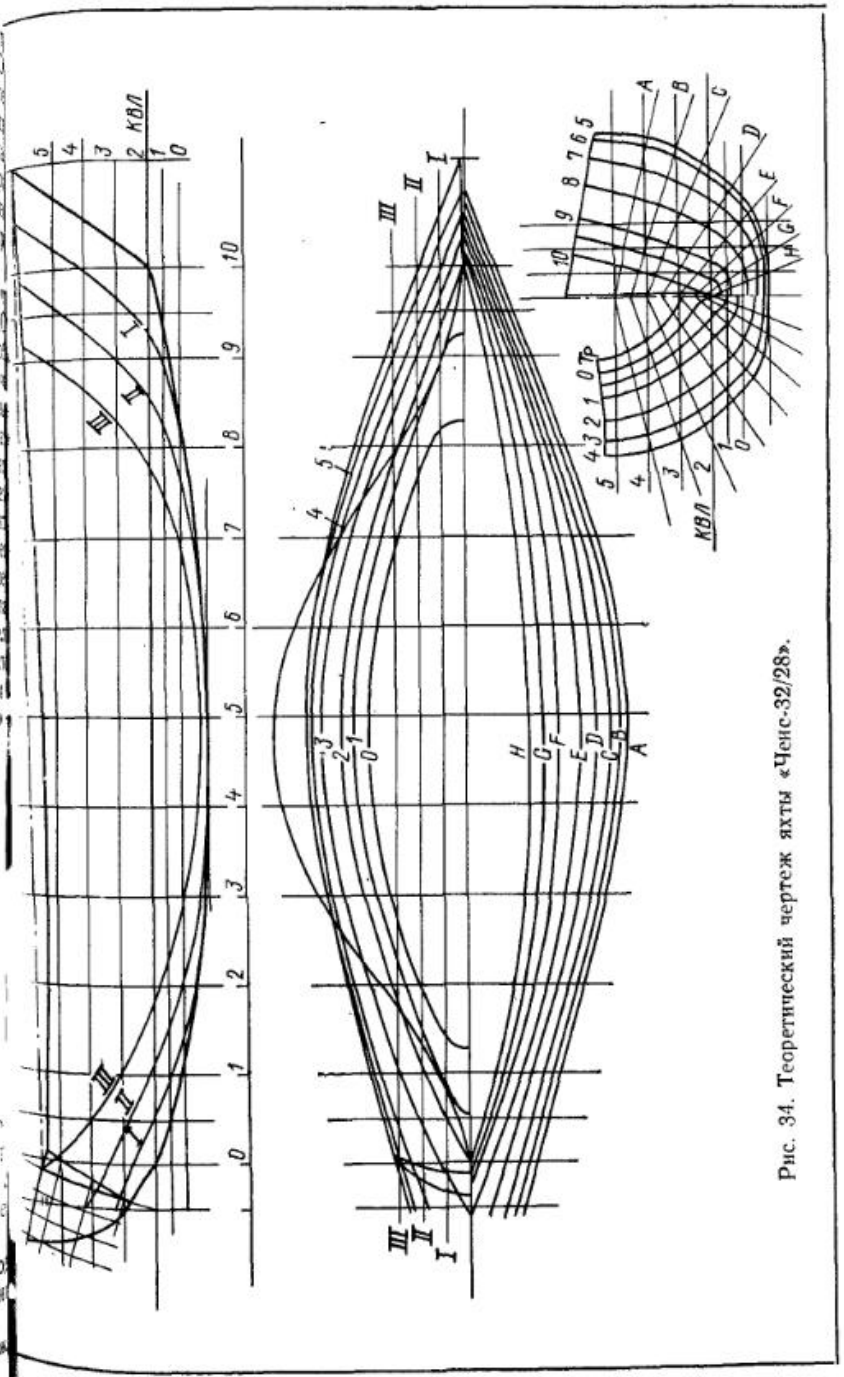



Рис. 34. Теоретический чертеж яхты «Ченс-32/28».

* ORC — Offshore Racing Commitee — Комитет Океанских гонок ме
народного парусного союза IYRU.

моделей. Его корпуса рассчитаны для быстроходного водоизмещающего плавания при хорошей сбалансированности и хорошем поведении на волне. Правила обмера в соображениях конструктора занимают второе место и в целях оптимальных технических решений он часто ими пренебрегает.

Суда Ченса почти всегда меньше, чем суда конкурентов, имеющие такой же гоночный балл. Следовательно, он придерживается тенденции получать возможно бо́льшую абсолютную скорость при данных расходах на постройку. Это не всегда окупается в гонках по правилам IOR, в которых имеет значение «относительная» (по отношению к гоночному баллу) скорость. То что яхты Ченса бывают почти всегда впереди яхт, спроектированных его конкурентами, даже на самую малость, является результатом его систематических исследований и отказа следовать модным веяниям.

В обводах его яхт (рис. 34—36) подчеркнуты все факторы, которые положительно влияют на скорость и уравновешенное поведение на волне. Четко выраженные трапецеидальные обводы шпангоутов вместе с относительно плоским днищем в носовой оконечности способствуют уменьшению неприятной тенденции приведения яхты к ветру. Рациональное распределение водоизмещения, прежде всего в области кормовой оконечности вместе с плоскими кормовыми обводами обеспечивает высокую скорость без образования тормозящих завихрений.

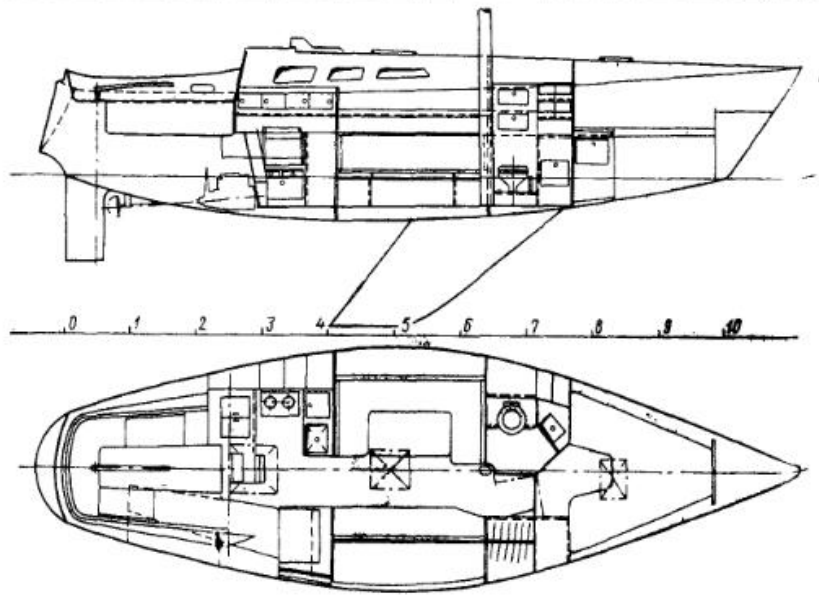



Рис. 35. Схема общего расположения яхты «Ченс-32/28».

В противоположность более широким и тяжелым судам, которые могут нести спинакер даже при большой волне и сильном ветре, стройные суда Ченса не рассчитаны на штормовые условия. Высокая скорость достигается при попутном ветре и относительно небольшой рискливости. Суда Ченса хорошо круто к ветру при крене 20—25°. Благодаря четко выраженным трапецеидальным обводам шпангоутов примерно при крене 20° не только намного повышается остойчивость формы, но и вступает в действие значительная масса фальшкиля. Так как благодаря хорошему распределению водоизмещения по длине яхты даже при крене 25—30° не проявляется тенденции к приведению судна к ветру, что обычно требует отклонения руля, то тяга парусов полностью используется на движение вперед. В противоположность широким корпусам яхт швертботного типа, которые должны плавать вертикально, так как иначе тормозящие моменты приведения к ветру становятся слишком большими, на узких судах Ченса почти не имеет смысла откренивать яхту массой экипажа. При крене 20—25° судно становится чрезвычайно остойчивым и может идти круто к ветру. При этом положении в контакт с волной вступает не плоское днище носовой части, а сравнительно острая скула. Это объясняет общеизвестные хорошие ходовые качества, которыми отличаются проекты Ченса в бейдевинд.

Яхта «Ченс-32/28» больше подходит яхтсмену-туристу, чем другие проекты Ченса. Почти обязательная для гоночных яхт доля балласта в 50% водоизмещения здесь составляет всего 39%. Это стало возможным сделать без ущерба для остойчивости яхты, поскольку корпус «32/28» не такой узкий, как у предыдущих яхт Ченса.

Оборудование «Ченса-32/28» существенно отличается от оборудования гоночных яхт. Четыре стационарных койки, рундуки и помещения для запасов провизии, просторный салон, камбуз, удобный гальюн с умывальником создают команде из четырех человек настоящий комфорт. При необходимости обеденный стол можно превратить в двуспальную койку еще для двух человек.

Бриттон Ченс как конструктор яхт является образованным профессионалом с

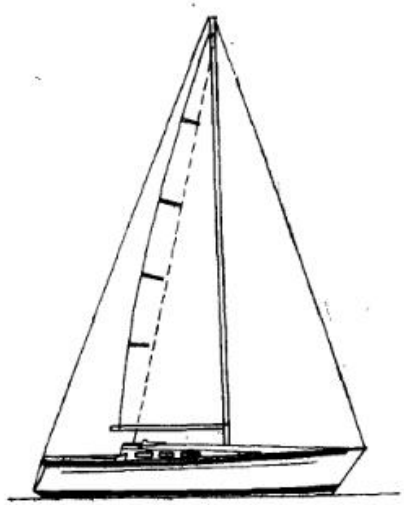


Рис. 36. Схема парусности яхты «Ченс-32/28».

большими познаниями в области гидродинамики яхт. Еще студенческие годы он работал с Пьером де Сикс — руковод телем экспериментального отдела по буксировочным испыта ям судов института технологии Стивенса. Его первым успе ным проектом была яхта «Комплекс-V» класса R5,5, постро ная в 1963 г. С 1967 по 1973 гг. на яхтах проектов Ченса бы выиграны все чемпионаты мира в этом классе. В 1967 г. 12-м тровик Ченса «Интрепид» успешно защищал кубок «Америк Потом последовали яхты-призеры, такие как «Эквэйшн» с п ворачивающимся килем, из опыта постройки которой возник суперяхта «Ондин» длиной 21 м. Между ними были так удачные проекты, как «Уорнер», «РТ-30», «Ченс-30», «-3 «-33/29», «-24», а также описанная яхта «-32/28». Со сво сильным конструкторским коллективом в 4—6 человек, от к торого Ченс требует полной отдачи, он создал за 12 лет свы 70 проектов яхт, из которых многие были освоены в серийн постройке.

### 2.4.3. Ричард Картер: однотонник «Идра»

**Основные данные**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м . . . . | 11,25 |
| Длина по КВЛ, м . . . . . | 8,63 |
| Ширина, м . . . . . | 3,74 |
| Осадка, м . . . . . | 1,94 |
| Водоизмещение, т . . . . . | 7,8 |
| Площадь парусности, м² . . . | 58,5 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 1,83 |

Уже с первого взгляда бросается в глаза необы ширина корпуса, которая в оптическом впечатлении смягча завалом шпангоутов внутрь (рис. 37—39). Яхта сконстру вана с учетом обмера ширины по правилам IOR. Цель очевидной — высокая относительная (т. е. в отношении к чине гоночного балла) скорость, чтобы уже на чертежно ске выиграть Кубок однотонников. Это удалось сдела 1973 г. с помощью яхтсмена-профессионала Страулино.

Проект «Идры» с ее утрированной шириной при остры обводах оконечностей весьма отличается от идеальной яхт способной развить максимальную абсолютную скорость. Шпа гоуты V-образной формы только в самой нижней части дни имеют плоский участок и все же существенно отличаются настоящих трапецеидальных обводов, что особенно желатель для широких яхт в целях уменьшения их тенденции приведен к ветру.

Обводы шпангоутов носовой части, значительно отлича щиеся от шпангоутов U-образной формы, выбраны с цел

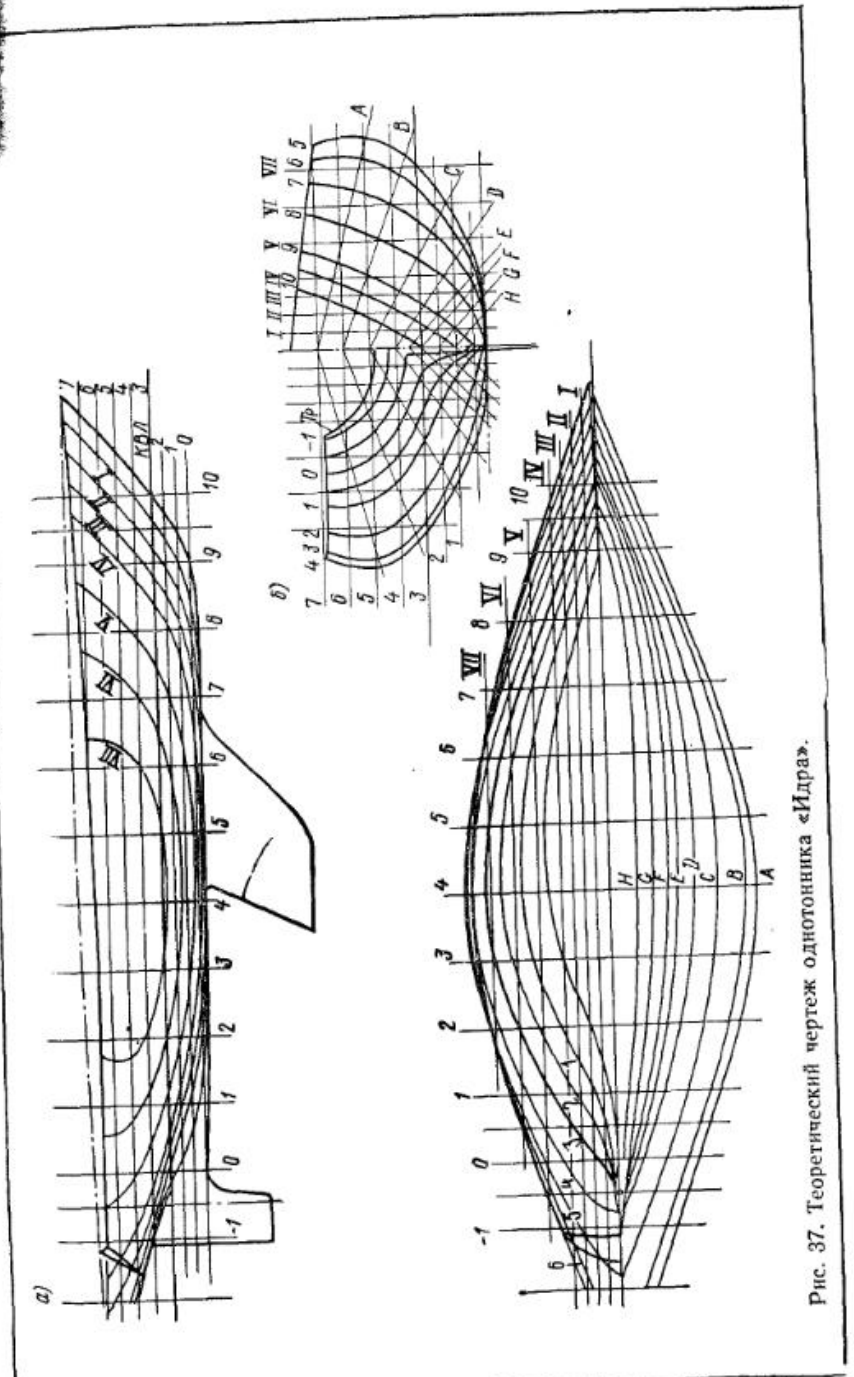


Рис. 37. Теоретический чертеж однотонника «Идра».

улучшения поведения судна на волне. Длинный узкий скег перед рулем препятствует свободному перетеканию воды между килем и рулем, что, вероятно, является рациональным решением для слишком широкого судна.

В противоположность новым конструктивным решениям распределение водоизмещения по длине корпуса характеризуется сосредоточением больших объемов в носовой части, а не в кормовой. Площади руля и киля хорошо соразмерены и расстояние между ними достаточно велико для обеспечения хорошей устойчивости на курсе. Положительную роль в этом играет также длинный узкий скег перед рулем. Плавник киля выбран относительно толстым, вследствие чего на строевой по шпангоутам ясно видна выпуклость. С этим недостатком, очевидно, пришлось смириться, чтобы иметь возможность разместить в киле гидравлический привод гребного вала. Вал расположен горизонтально в направлении набегающего потока воды по верхней кромке киля. Смысл подобного размещения состоял также в недостаточно точном определении поправки на гребной винт в формуле IOR, что давало «Идре» преимущества в гонках.

Планировка кают и оборудование палубы полностью рассчитаны на целесообразность в гонках. Форпик предназначен для хранения парусов; четыре койки и два дивана хорошо размещаются в средней части пузатого корпуса.

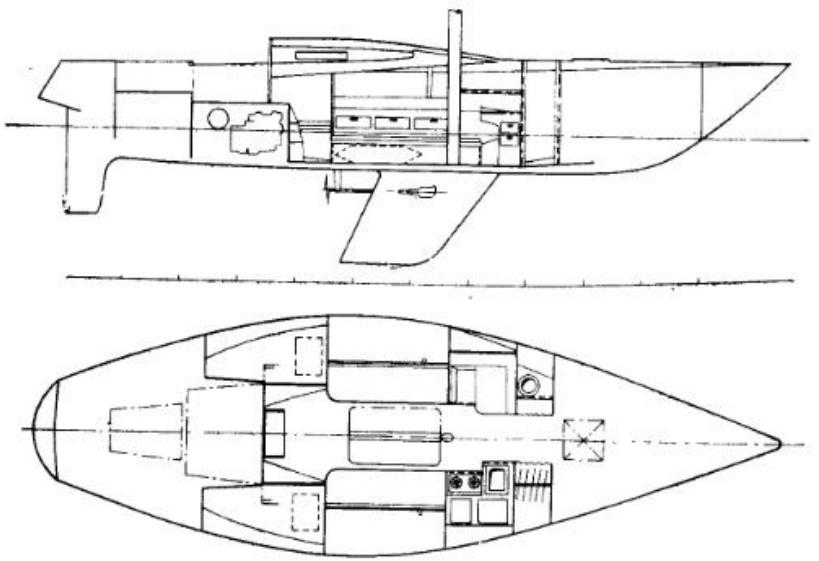


Рис. 38. Схема общего расположения однотоннника «Идра».



Аналогично и оснастка этой яхты — шлюп с топовым стакселем — полностью рассчитана на гонки. Относительная площадь парусности несколько ниже обычной цифры: 2 м² на м² прямоугольника $L \times B$. С другой стороны, 58,5 м² парусов для однотонника очень много и, вероятно, конструктор добился этого тщательной проработкой обмерной формулы при проектировании корпуса.

Как утверждает яхтсмен-ас Ганс-Бейлкен, который хорошо знает «Идру», это пузатое судно должно ходить без крена. Если широкую и полную среднюю часть «вдавит» в воду, появляются нежелательные гидродинамические моменты, приводящие к рыскливости яхты. Это, конечно, тормозит ход яхты. В гонках весь экипаж должен располагаться на наветренной стороне палубы, ближе к середине яхты, и откренивать судно, свесив ноги за борт.

Еще в 1965 г. Картер не имел специального образования яхтенного конструктора. Но он был увлеченным яхтсменом и хорошим наблюдателем. В 1965 г. он поразил мир специалистов в Фастнетской гонке благодаря успеху своей первой самостоятельно сконструированной яхты «Рэббит-1». В 1966 г. его однотонник «Тина» выиграл кубок, затем появился «Оптимист», который победил в 1967 г. на гонках в Гавре и в 1968 г. в Гельголанде. Только в 1969 г. однотонный кубок выиграли новозеландцы на яхте конструкции Спаркмена и Стефенса.

Сейчас Картер — глава конструкторской и яхтостроительной фирмы «Картер Оффшор» с филиалами по всему миру. Безусловно, что этот бывший конструктор-любитель своими проектами широких океанских гоночных яхт внес определенный вклад в область конструирования яхт. Часто высказывается мнение, что именно он ввел в яхтостроение раздельное от киля расположение руля, но это неверно, это заслуга Ван де Штадта. Картер, однако, с успехом скомбинировал это нововведение с широким остойчивым корпусом. По слухам, и в будущем он хочет остаться верным своему принципу в выборе широких корпусов, но уже сейчас существенно изменил обводы своих яхт, следуя новым веяниям.

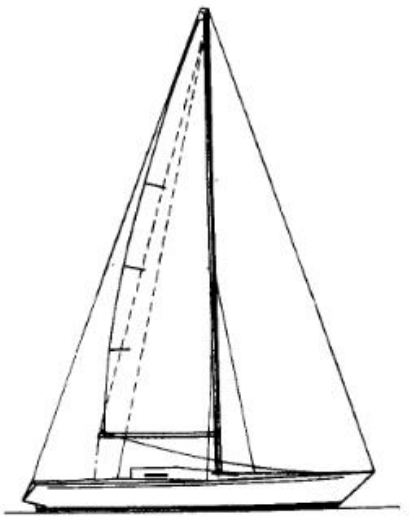


Рис. 39. Схема парусности «Идры».

### 2.4.4. Карл Фелтц: 10,5-метровая яхта с вооружением кэт-кеч

**Основные данные**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м . . | 10,50 |
| Длина по КВЛ, м . . . . | 7,90 |
| Ширина, м . . . . . | 3,08 |
| Осадка, м . . . . . | 1,78 |
| Водоизмещение, т... Около | 3,00 |
| Площадь парусности, м² . . | 50,6 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ . . . . . | 2,33 |

Как конструктор яхт Карл Фелтц стал широко известен, когда спроектированный им четвертьтонник «Листанг» в 1969 г. выиграл чемпионат мира в своем классе. Для его проектов характерны абсолютно быстроходные яхты легкой конструкции с такими плоскими обводами днища в кормовой части (рис. 40—41), что при соответствующих условиях они выходят на режим глиссирования. С другой стороны, отличное знание им формулы IOR с ее лазейками и ошибками приводит к тому, что нередко с его доски сходят проекты настоящих «выжимателей формулы». Одним из них является рассматриваемый проект 10,5-метровой яхты, построенной из алюминиевого сплава и имеющей только 3 т водоизмещения. При площади парусов более 50 м² яхта имеет такой балл по формуле IOR, который допускает ее участие в классных гонках полутонников.

В отличие от конструкторов обычных «выжимателей формулы», которые снижают гоночный балл назначением чрезмерно большой ширины корпуса $B$, что ведет к уменьшению абсолютной скорости, Фелтц не делает никаких сомнительных компромиссов в отношении корпуса. Соотношение длины к ширине его проектов вполне нормальное, а относительно плоская и широкая корма подходит для достаточно высокой скорости. В обводах его яхт нет характерной для яхт, построенных по правилам IOR, обуженной кормы с крутым выходом батоксов, что является препятствием для развития более высокой абсолютной скорости.

Обводы по шпангоутам представляют собой комбинацию радиальных и U-образных шпангоутов, что обеспечивает от сительно малую смоченную поверхность с сильно прогрессиру щей остойчивостью формы уже при незначительном крене. Г более высоких скоростях, при которых доля трения в общ балансе сопротивления, как известно, уменьшается, смочен поверхность увеличивается вследствие погружения плос кормы. Возрастающее при этом сопротивление трения комп сируется значительным повышением остойчивости формы, т как при погружении относительно широкой U-образной кор



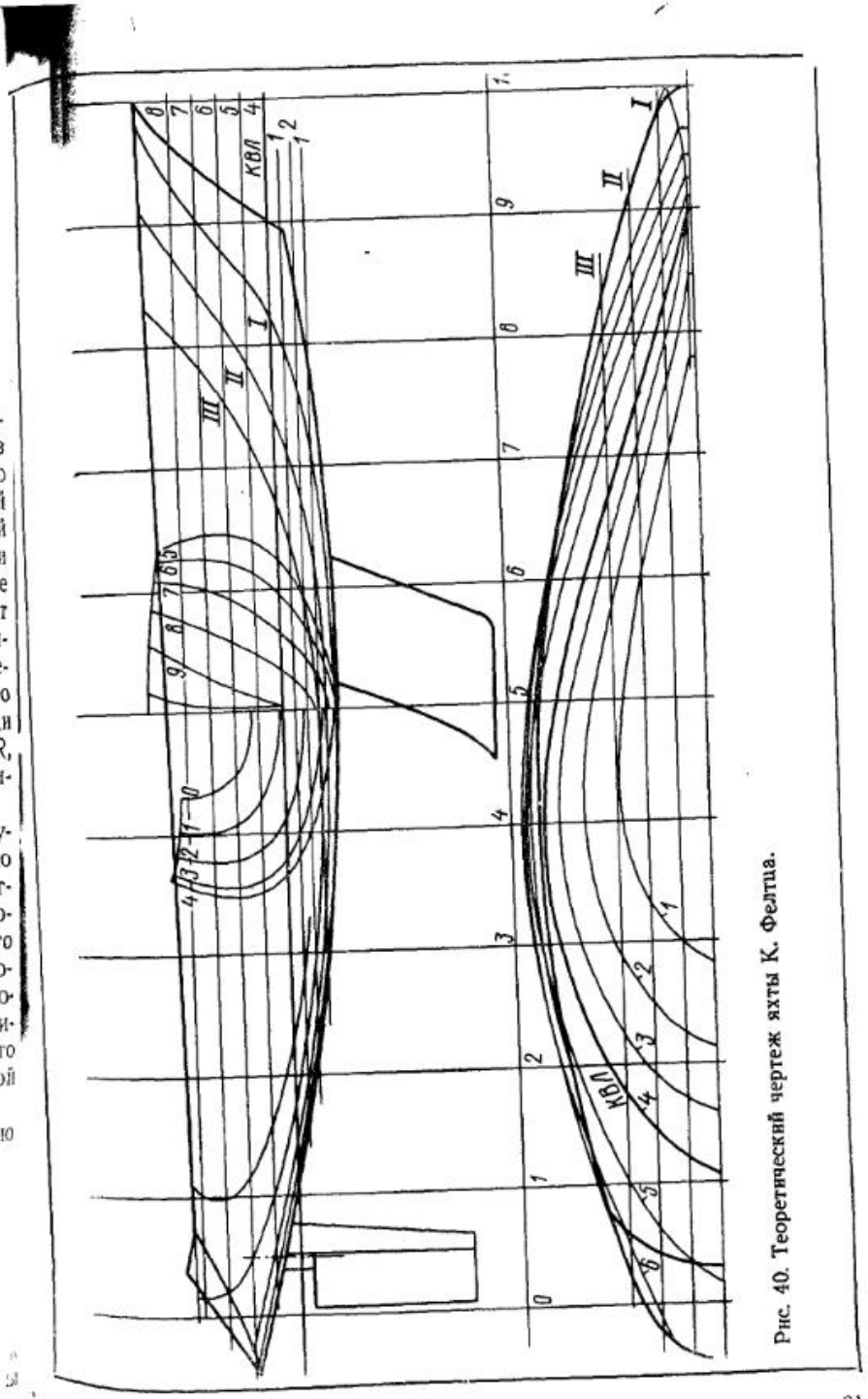



Рис. 40. Теоретический чертеж яхты К. Фелтца.

существенно увеличивается момент инерции ватерлинии. Повышение остойчивости формы необходимо при огромной площади парусности яхты, которая только с гротом и бизанью составляет 50,6 м². В узком и глубоком плавниковом киле должно содержаться примерно 50% водоизмещения яхты, т. е. 1,5 балласта. Только при таком условии будет обеспечена остойчивость от опрокидывания этой необычной яхты, оснащенной двумя высокими мачтами с тяжелым такелажем. Большое перо руля, навешенное на глубокий и узкий плавник, очень эффективно, а значительное отстояние руля от плавникового киля обеспечивает хорошую устойчивость на курсе.

Легкого водоизмещения этой яхты удалось достичь благодаря применению высокопрочной конструкции из легких сплавов и суровой экономии в оборудовании и оснащении. Здесь, например, предусмотрено только то число коек, которое регламентировано правилами для полутонников. Койки состоят из трубчатого каркаса, обтянутого парусиной. Площадь пола в каюте минимальная, камбуз спартанский, зашивка бортов внутри минимальная.

«Листанг» имел массу почти на 40% ниже массы своих конкурентов. Аналогично этому и в данном проекте было сделано всё для облегчения конструкции и достижения самой высокой абсолютной скорости.

Изюминка проекта, однако, в оснастке. И без нее данный корпус был бы очень быстроходным, но яхта получила бы высокие штрафы по формуле IOR. Чтобы обойти эти штрафы, Фелтц использовал лазейку в формуле IOR Магк-III, которую комитет ORC смог закрыть только в четвертой редакции формулы: грот и бизань, имеющие фактическую площадь 50 м², по обмеру получаются много меньше. Из-за отсутствия переднего треугольника нельзя, конечно, нести спинакер. Дополнительные 25 м² бизань-стакселя должны в какой-то мере компенсировать этот недостаток. Кроме того, благодаря упрощенному управлению парусами, на этой яхте можно обойтись меньшим числом экипажа. Конечно, выбранная Фелтцем оснастка имеет аэродинамические недостатки из-за завихрений от двух мачт и их индуктивного сопротивления. Несмотря на ухищрения конструктора, этот необычный проект получил произвольно дополнительный штраф к баллу для того, чтобы избежать слишком грубого разоблачения ошибок в формуле IOR.

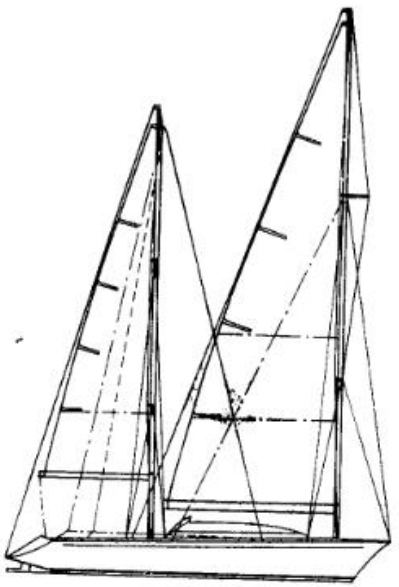


Рис. 41. Схема парусности яхты К. Фелтца.

Еще юношей Фелтц проводил эксперименты с буксируемыми моделями яхт, проектировал и позднее строил быстроходные швертботы. Впоследствии он основал верфь, где сегодня его сыновья по проектам отца строят первоклассные металлические корпуса для быстроходных яхт.

### 2.4.5. Спаркмен и Стефенс: «Саудад»

**Основные данные**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м | 14,30 |
| Длина по КВЛ, м | 11,95 |
| Ширина, м | 4,09 |
| Осадка, м | 2,31 |
| Водоизмещение, т | 12,83 |
| Площадь парусности обмерная, м² | 88,00 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 2,0 |

Исключительно трудно что-либо сказать о направлении конструирования большого конструкторского бюро. Более двадцати человек работают в различных отделах

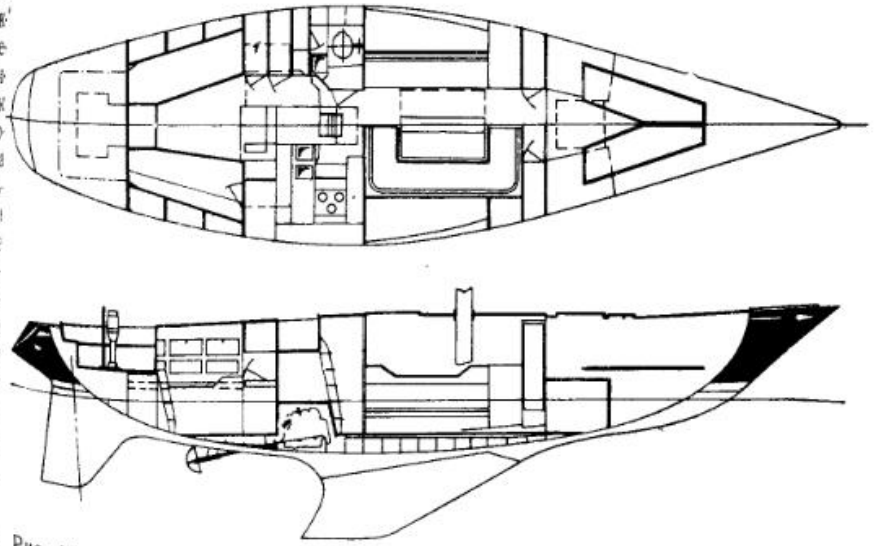


Рис. 42. Схема общего расположения яхты «Саудад».

представительной фирмы «Спаркмен и Стефенс» под руков-
ством Олина Стефенса. Он, один из самых активных яхтенн
конструкторов в мире, лично сконструировал многие знамен
тые гоночные яхты. В настоящее время едва ли можно ус
новить, в каком проекте содержится больше личного вкла
этого конструктора. И тем приятнее тот факт, что экстрема
ные «выжиматели формулы» не смогли утвердиться сре
проектов Стефенса на долгое время.

Возврат к разработке корпуса с нормальными соотно
ниями длины к ширине представляет собой яхта «Сауда
(рис. 42 и 43), которая в 1973 г. внесла весьма существенн
вклад в завоевание Адмиральского Кубка для ФРГ. Постро
ная по типу английской яхты «Проспект оф Уитби» из легко
сплава, она имеет исключительно легкий корпус. Вполне но
мальное для размеров яхты водоизмещение (почти 13
является следствием тяжелого балласта, составляющего бо
58% водоизмещения. Балласт 7,5 т придает этой яхте с впол
нормальной удельной площадью парусности отличные ходов
качества при лавировке даже в сильный ветер. В сочетани
очень острой носовой частью можно ожидать хорошей способ
сти яхты плавать по бурному морю без потери скорости. Дос
точно большая относительная длина яхты позволяет ей непл
хо ходить также на полных курсах. Однако обводы «Сауда
нельзя оценить: фирма, как правило, не публикует теоретич
ских чертежей своих яхт. Этот ореол таинственности и заста
ляет заказчиков делать высокие затраты на постройку я

Фирма редко идет
конструктивный риск. Д
тальной разработке обор
дования палубы и оснаст
придается всегда оче
большое значение, констр
торы не экономят на техн
ке. Кто это оплачивает, т
покупает также и коман
из профессионалов, что
оправдать затраты и вы
рать решающие гонки. Эт
объясняется тот факт, ч
за яхтами «Спаркмена
Стефенса» удерживает
слава выигрывать регу
уже наполовину благода
их проекту.

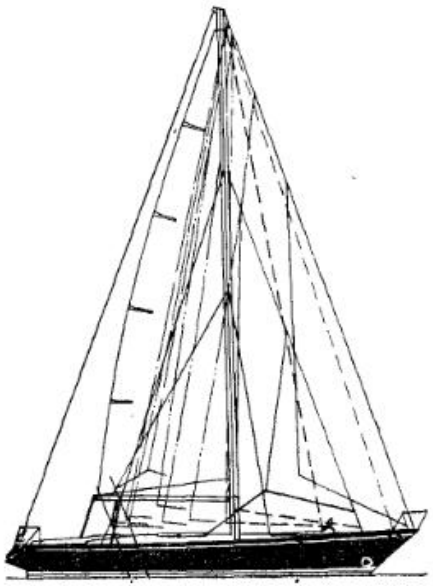


Рис. 43. Схема парусности я
«Саудад».



## 2.4.6. Мишель Дюфур: «Дюфур-31»

**Основные данные**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Длина наибольшая, м | 9,40 | Площадь парусности, обмерная, м² | 40 |
| Длина по КВЛ, м | 7,00 | | |
| Ширина, м | 3,20 | Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 2,2 |
| Осадка, м | 1,74 или 1,45 | | |
| Водоизмещение, т | 4,3 | | |

С той поры как М. Дюфур в 60-е годы спроектировал свой полутонник «Арпэж», имевший успех, его имя в Европе стало широко известно. Если сравнить «Арпэж», имевшую широкий и полный корпус с острой кормой, с корпусом «Дюфура-31», то можно отметить некоторый поворот в решениях этого конструктора. При проектировании яхт Дюфур не ставит во главу угла обмерные формулы, а допускает компромиссы. Как крупный поставщик яхт, он должен разрабатывать проекты яхт, успешных в гонках при обмере по правилам IOR. С другой стороны, он сознает также, что время раздумий над формулой заканчивается и на передний план все больше выступает абсолютная скорость яхты и другие технические факторы.

С умеренно растянутым по длине распределением водоизмещения, V-образными носовыми шпангоутами и широким транцем яхта «Дюфур-31» является определенно шагом вперед (рис. 44, 45 и 46). Мягкие радиальные обводы шпангоутов с небольшой тенденцией к U-образным обводам в кормовой части дают относительно небольшую смоченную поверхность при достаточной

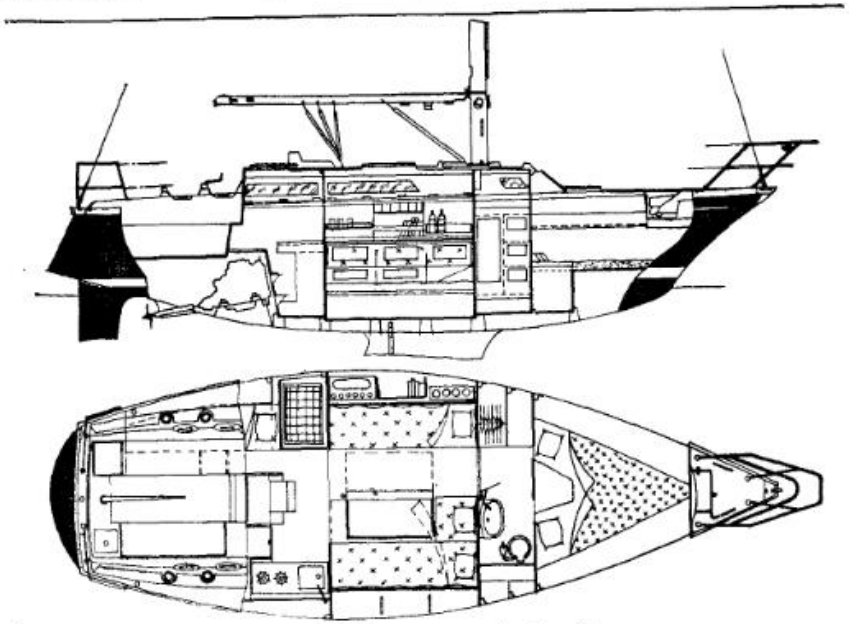


Рис. 44. Схема общего расположения яхты «Дюфур-31».

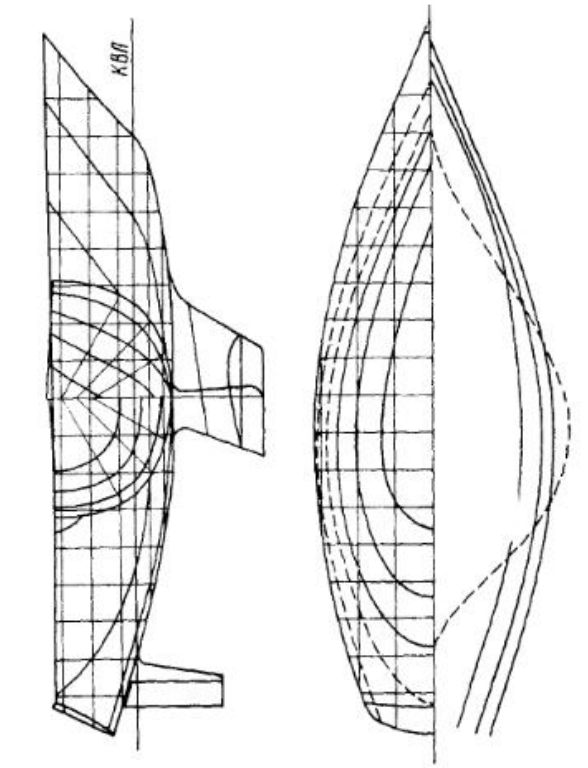



Рис. 46. Теоретический чертеж яхты «Дюфур-31».

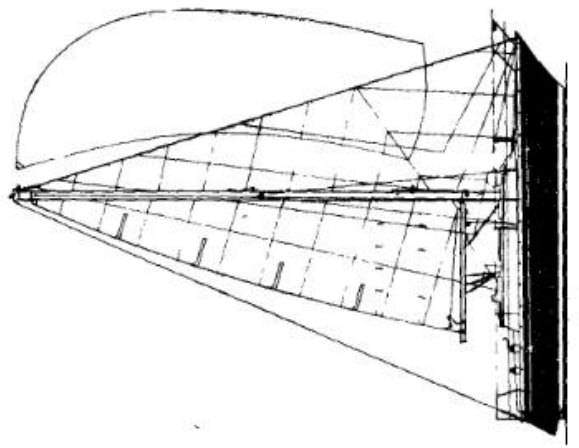


Рис. 45. Схема парусности яхты «Дюфур-31».



стойчивости формы. Это сильно нагруженное парусами судно имеет определенно хорошие ходовые качества в слабый ветер. Увеличение остойчивости формы благодаря погружению при крене широкой кормы в сильный ветер говорит только о хороших свойствах яхты в среднюю погоду при ветре до четырех баллов. Умеренно плоские батоксы в корме, имеющие выход под 20° к КВЛ, благоприятны для водоизмещающего плавания с относительно высокой скоростью, хотя область сверхкритических скоростей вследствие только умеренно распределенного по длине водоизмещения вряд ли достижима.

Судно имеет сравнительно небольшой балласт — около 38% водоизмещения. Вместе с большой осадкой (1,74 м) плавникового киля этого вполне достаточно для обеспечения остойчивости яхты под полными парусами при ветре более четырех баллов. Вариант яхты с уменьшенной до 1,45 м осадкой при той же массе балласта рассчитан на более тихую погоду. Судно обладает хорошей устойчивостью на курсе благодаря большому расстоянию между плавниковым килем и кормовым скегом с рулем.

Продуманное оборудование дает яхтсмену-туристу максимум простора и комфорта, и это стало для Дюфура уже традицией.

Парусная оснастка и устройство палубы также тщательно продуманы. Наряду с обычным расположением шкотовых лебедок бросается в глаза проводка гика-шкота, который вынесен далеко вперед на палубу рубки. Дюфур предпочел здесь небольшие усилия шкота на ноке гика удобству обслуживания, так как при принятой проводке гика-шкота кокпит и трап остаются свободными.

В общем яхта «Дюфур-31» воплощает проект, в котором целесообразность конструкции сочетается с удовлетворением требований обмера по правилам IOR. Гоночный балл примерно в 23,3 фута — очень низкая величина для этой просторной яхты.

### 2.4.7. Гари Мул: «Импробэйбл»

**Основные данные**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м | 12,83 |
| Длина по КВЛ, м | 11,20 |
| Ширина, м | 3,08 |
| Осадка, м | 2,16 |
| Водоизмещение, т | 7,75 |
| Площадь парусности, обмерная, м² | 7,7 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 2,6 |

Гари Мул — один из восходящих конструкторов в Калифорнии, ученик Спаркмена и Стефенса, выработавший свою собственную конструктивную линию. Он свел до минимума

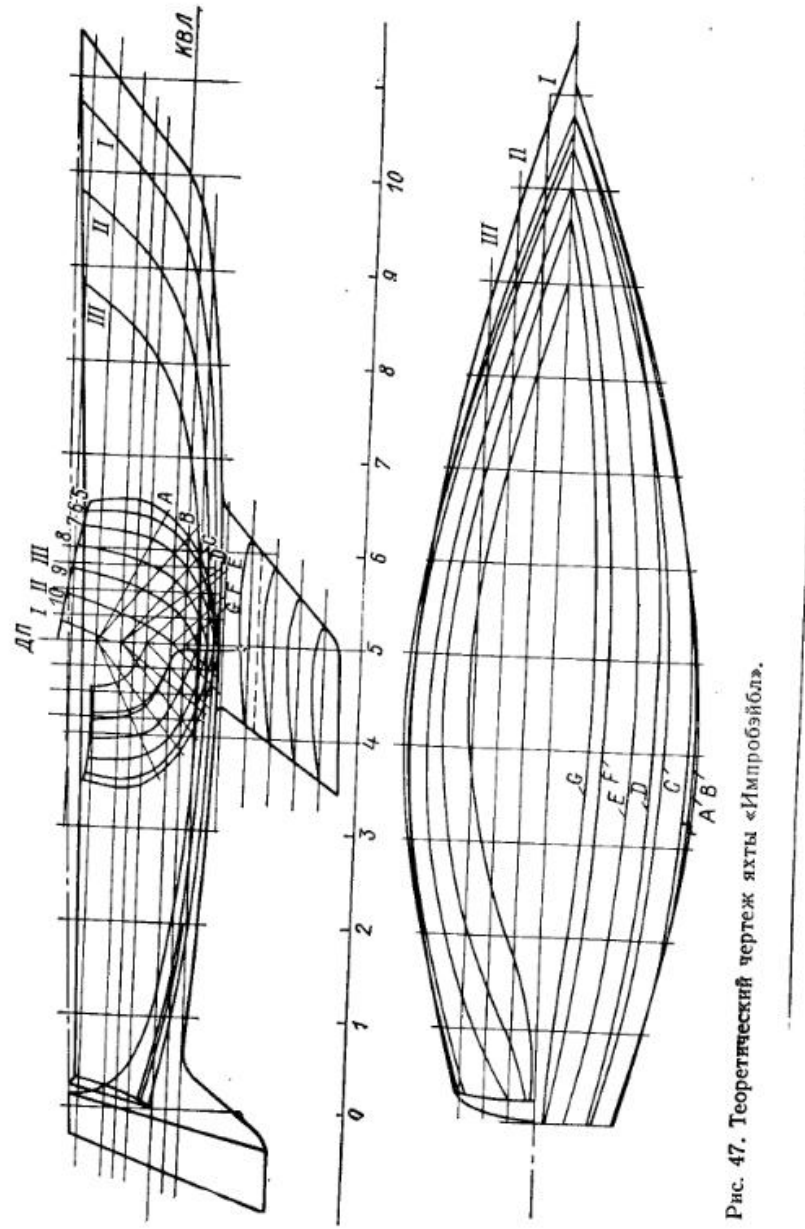



Рис. 47. Теоретический чертеж яхты «Импробэйбл».

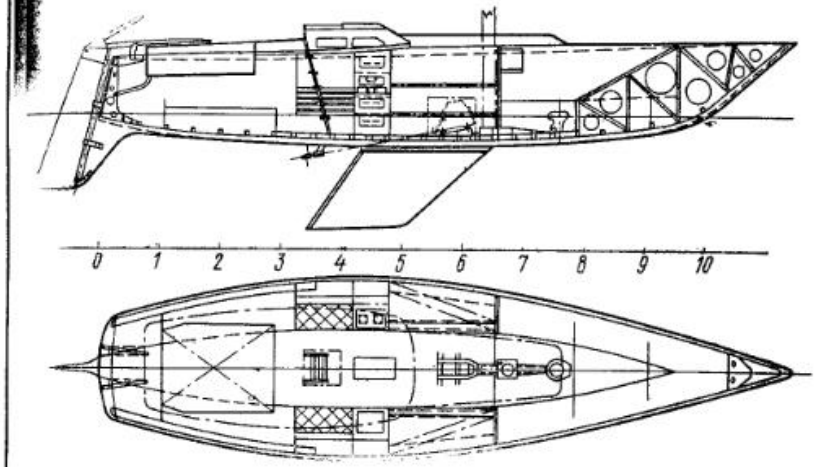



Рис. 48. Схема общего расположения яхты «Импробэйбл».

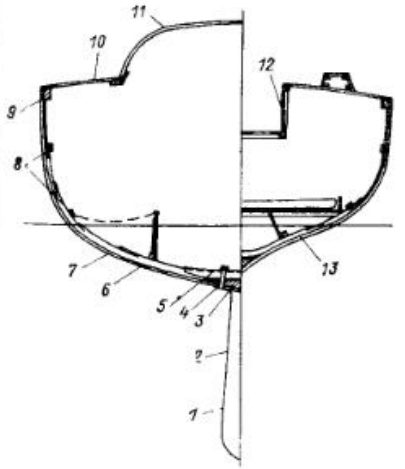



Рис. 49. Конструктивный мидель-шпангоут «Импробэйбл».

*1* — свинцовый балласт, 2,7 т; *2* — обшивка плавника, сталь δ=6; *3* — киль 89×460; *4* — болт М25; *5* — флор, сталь δ=6; *6* — шпангоут 64×125; *7* — обшивка, клееная из семи слоев каури толщиной 3 мм; *8* — стрингер 51×25; *9* — привальный брус 51×76; *10* — настил палубы из трех слоев каури толщиной 6 мм; *11* — рубка из семи слоев каури толщиной 3 мм; *12* — кокпит, фанера δ=13; *13* — шпангоут, клееный из трех реек 38×125.

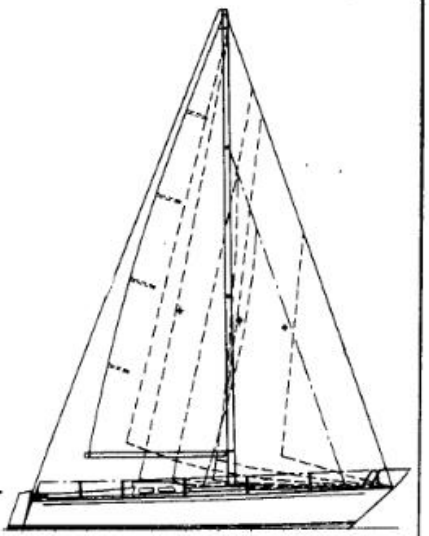


Рис. 50. Схема парусности «Импробэйбл».

компромиссы, к которым принуждает проектирование по правилам IOR, и предпочитает проектировать яхты с высокими абсолютными скоростями.

Когда один из заказчиков захотел иметь очень быстроходную океанскую гоночную яхту с минимальным оборудованием и не стеснил Мула ограничениями, возник проект «Импробэйбл». Яхта была построена в 1971 г. в Новой Зеландии с корпусом, выклеенным из древесины каури, и на испытаниях развивала скорость 16—20 уз. Построенная без учета формулы IOR, она, однако, выиграла многие гонки. Элегантные линии этой узкой яхты с наклонными к КВЛ примерно под 15° пологими батоксами в корме позволяют догадываться о возможности развития высокой скорости на режиме серфинга. Остойчивость обеспечивается сочетанием обводов с резко выраженной скулой с тяжелым балластом, составляющим 50% водоизмещения (рис. 47—50).

Плоские V-образные шпангоуты со скулой малого радиуса целесообразны только у таких узких судов, как «Импробэйбл». То же можно сказать и о днищевом скеге, вытянутом вдоль корпуса для повышения устойчивости на курсе и расположенном перед плавником у руля. Скег и плавник вместе с большим рулем, который размещен на транце, как у швертбота, обеспечивают высокую устойчивость на курсе и хорошую управляемость в самых трудных условиях. Большая удельная площадь парусов (2,6 м² на м² прямоугольника ватерлинии), как и у всех быстроходных яхт, позволяет использовать имеющуюся остойчивость больше, чем обычно. Несмотря на это, рифы на парусах этой яхты берутся редко. Благодаря незначительному сопротивлению воды и высокой скорости «Импробэйбл» лучше преодолевает сильный ветер, чем обычная яхта. На крутых к ветру курсах есть, конечно, пределы, обусловленные остойчивостью.

Экипаж яхты «Импробэйбл» вынужден отказываться от полного комфорта. В этой «морской ракете» имеются четыре одиночных койки и двуспальная койка под кокпитом, камбуз с холодильником, просторный санузел в носовой части, а также междупалубное пространство нормальной высоты во всем жилом отсеке. Высококачественная полностью клееная деревянная конструкция допускает высокие нагрузки при хорошей долговечности. Специальная фанерная продольная переборка между килем и палубой в носовой части обеспечивает жесткость корпуса при действии высоких нагрузок от форштага. Усилением днищевых флоров из оцинкованной стали достигается надежное крепление балластного киля. Все в конструкции этой океанской гоночной яхты просто и целесообразно и вызывает доверие. Вместо ориентации на обмерную формулу при проектировании «Импробэйбл» время, деньги и усилия конструктора были вложены в буксировочные испытания для установления оптимальной формы корпуса, которая позволила бы осуществлять движение в режиме серфинга.



### 2.4.8. Хорст Гласер: «Гласер-34»

**Основные данные**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м | 10,40 |
| Длина по КВЛ, м | 8,00 |
| Ширина, м | 3,35 |
| Осадка, м | 1,68 |
| Водоизмещение, т | Около 4,0 |
| Площадь парусности, обмерная, м² | 38,0 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 1,6 |

Яхта «Сису-II» конструкции Гласера выиграла в в 1975 г. гонку «Скаген Рэйс» в самых суровых погодных условиях, которые многие другие яхты не выдержали. Хорст Гласер — бывший меритель крейсерско-гоночных яхт в основу своего проекта положил достижение низкого гоночного балла. Подобно большинству судов Картера здесь все проектирование велось вокруг сверхширины *B*. В отличие от проектов Картера у Гласера нет равномерного распределения водоизмещения по длине ватерлинии и большого балласта. Масса фальшкиля составляет 32% водоизмещения, как раз столько, сколько необходимо для достижения достаточной остойчивости. Судно с гоночным баллом 21,9 фута (почти как полутонник) имеет массу примерно 4 т, что очень мало для корпуса таких размеров. Сделать такую легкую яхту (кроме легкого фальшкиля массой 1,3 т) удалось благодаря применению метода формования корпуса из слоев толстого шпона. Удельная площадь парусности (1,6 м² на 1 м² прямоугольника КВЛ) чрезвычайно мала. Следовательно, о «Гласере-34» можно говорить как о «яхте-буревестнике», которая может идти с незарифленными парусами в свежий ветер, когда яхты-конкуренты таких же размерений, но более нагруженные парусами и с большим гоночным баллом уже давно взяли рифы (рис. 51—53).

В условиях легкого ветра огромный корпус «Гласера-34» с его большой смоченной поверхностью, конечно, является недостатком. Площадь парусности слишком маленькая, и только относительно легкое водоизмещение сглаживает исключительное бессилие этой яхты в слабые и средние ветра. В сильный ветер пузатая яхта, подобно океанским швертботам Картера, должна идти с командой, висящей на наветренном борту, чтобы избежать большого крена. При крене появляется сильная тенденция к приведению яхты к ветру.

Как стало известно, корпус «Гласера-34», уменьшенный в размерах, был использован для постройки яхт из пластмасс, которые должны быть неплохими ходоками.

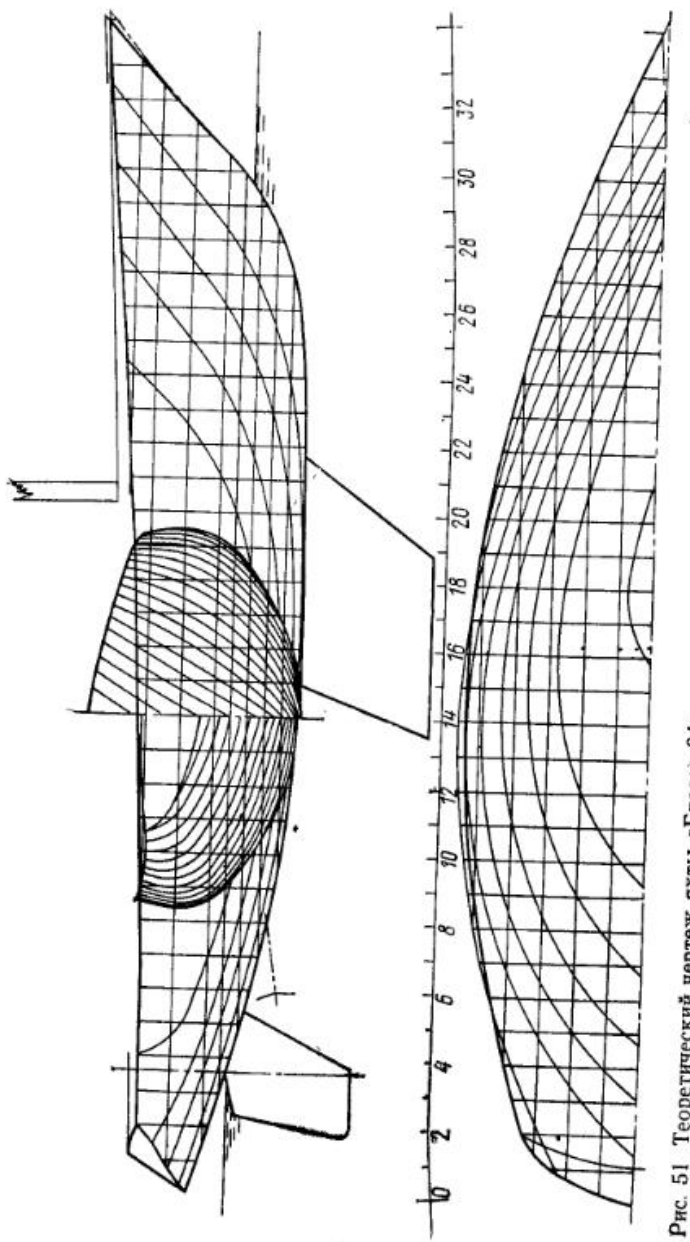



Рис. 51 Теоретический чертеж яхты «Гласер-34».



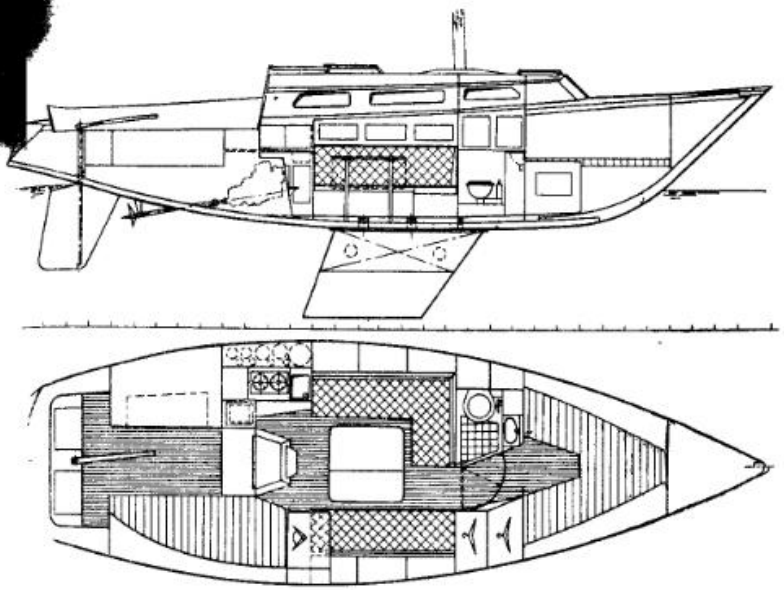


Рис. 52. Схема общего расположения яхты «Гласер-34».

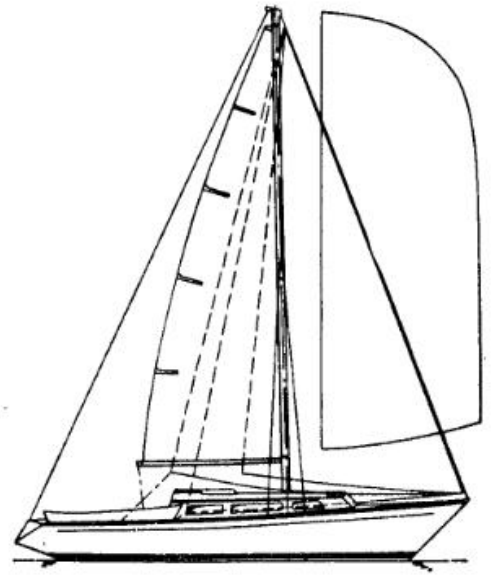


Рис. 53. Схема парусности яхты «Гласер-34».

### 2.4.9. Хорст Штихнот: моторно-парусная яхта длиной 15,5 м

Проект этой туристской яхты (рис. 54—56) являе
прямым воплощением последних достижений в проектирова
яхт. В качестве материала корпуса применен армоцемент,
торый по своей природе может использоваться почти исклю
тельно для тяжелых яхт с длинным килем. Подвесные
днищем детали, такие как плавниковые кили и рулевые ске
были бы из этого хрупкого материала недостаточно пр
ными.

Массивный киль, который дает на строевой по шпангоут
невыгодную для ходовых качеств выпуклость, имеет больш
объем, используемый в качестве цистерн. Масса содержимо
этих цистерн, по крайней мере временно, увеличивает мас
балласта, постоянная составляющая которого 5,2 т равна тол
ко 22% водоизмещения. Этот резерв для повышения остойчи
сти, хотя и не является оптимальным решением проблемы б
опасности, но в данном случае все же необходим.

Для того чтобы такое тяжелое судно с огромной смочен
поверхностью развивало приемлемую скорость, необходима д
статочно большая площадь парусности. При удельной паруса
сти 2,23 м² на 1 м² прямоугольника КВЛ парусов ка
вполне достаточно, чтобы компенсировать большое сопро
ние трения корпуса. При свежем попутном ветре с полно
русностью эта яхта может достичь предельной скорости
можной для корпуса водоизмещающего типа. Область
критических скоростей остается для этой тяжелой яхты с
ным килем недоступной.

Значительная площадь киля обеспечивает небольшой уг
дрейфа яхты при слабом ветре и на малом ходу. При подъе
на слип яхта с подобным длинным килем имеет явные преим
щества по сравнению с судами, имеющими очень коротк
плавниковый киль. Если оставить в стороне ходовые качества
можно найти и другие аргументы в пользу этого проект
Любителям дальних путешествий, например, понравятся е
комфортабельные каюты на борту этого судна.

### 2.4.10. Курт Рейнке: «Гидра»/«Омега»

Писать о своем собственном направлении в проект
ровании яхт просто. Но на этот раз дело осложняется тем, ч
для автора равноправно существуют два основных принцип
проектирования: либо создается проект мореходной парусно
яхты, либо проект быстроходной моторно-парусной яхты, сп
собной развить сверхкритические скорости водоизмещающе
плавания под парусами, по возможности легкой, приспособле
ной для движения в режиме серфинга и полуглиссировани

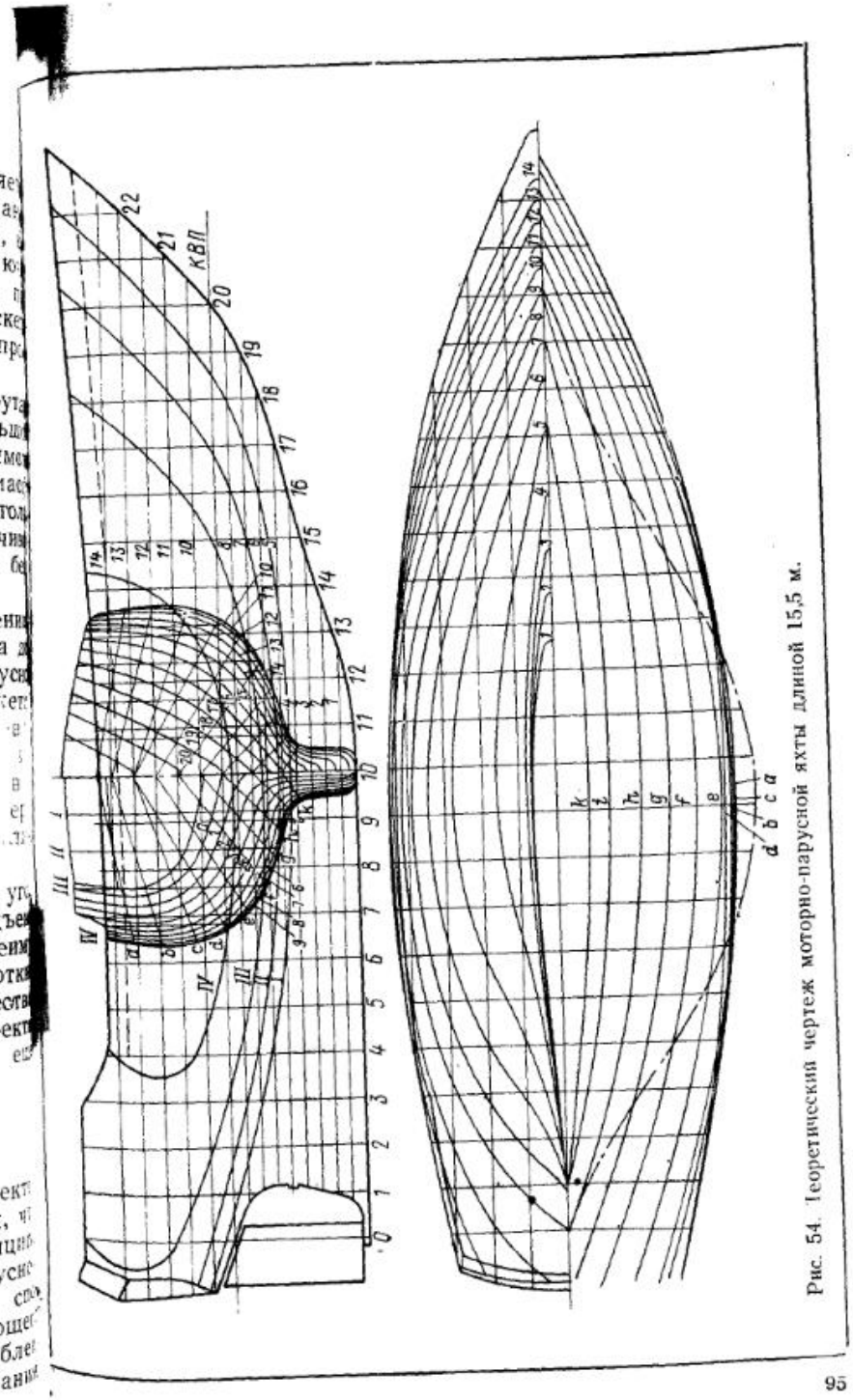



Рис. 54. Теоретический чертеж моторно-парусной яхты длиной 15,5 м.

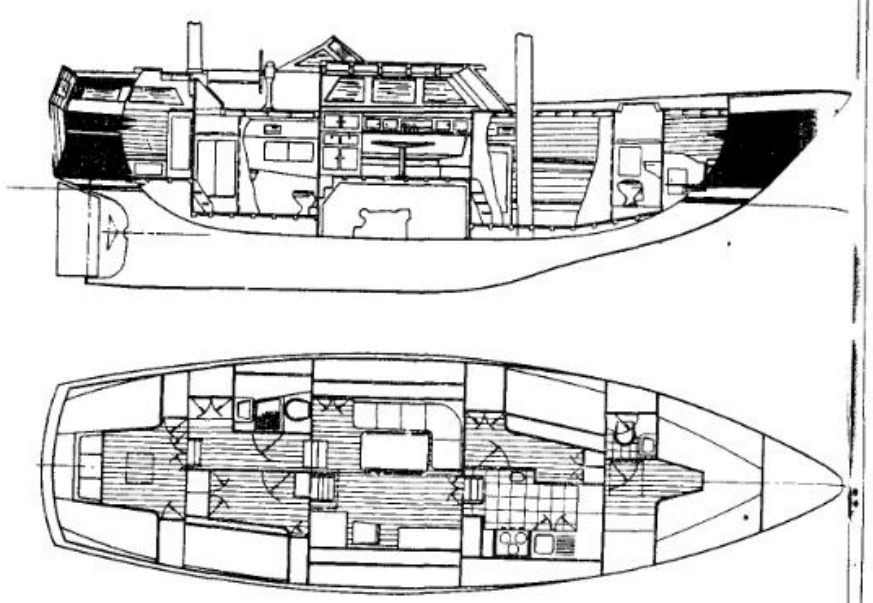
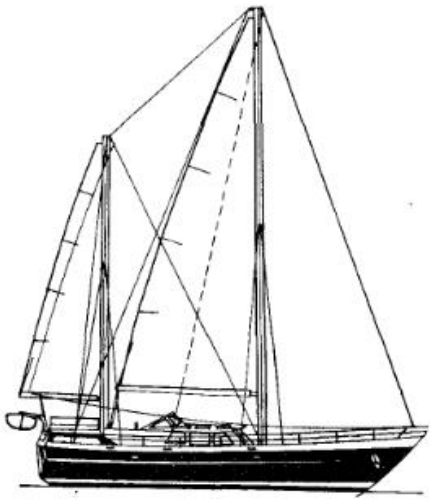


Рис. 55. Схема общего расположения моторно-парусной яхты.



**Основные данные**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м | 15,5 |
| Длина по КВЛ, м | 12,5 |
| Ширина, м | 4,54 |
| Осадка, м | 1,80 |
| Водоизмещение, т | 23,4 |
| Обмерная площадь парусности м² | 116,0 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 2,28 |

Рис. 56. Схема общего расположения моторно-парусной яхты.

**Основные данные «Гидры»**

| | |
|---|---|
| Длина наибольшая, м | 14,00 |
| Длина по КВЛ, м | 12,40 |
| Ширина, м | 3,90 |
| Осадка, м | 1,80/1,60 |
| Водоизмещение, т | 11/14 |
| Площадь парусности, м² | 90 |
| Удельная площадь парусности, м² на м² площади КВЛ | 2,2 |

Рис. 57. Схема парусности яхты «Гидра».

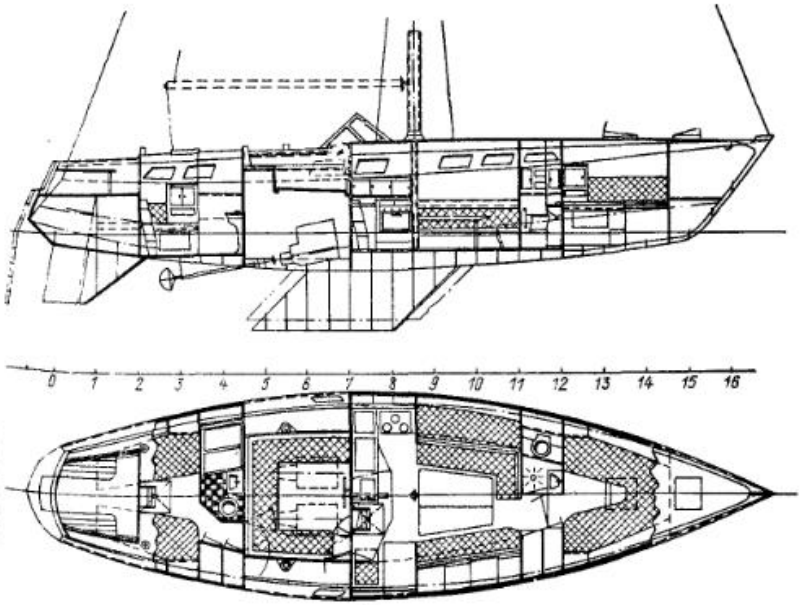



Рис. 58. Схема общего расположения «Гидры».

«Гидра» проектировалась как быстроходное туристское судно (рис. 57—59). Применение двухвальной гребной установки должно было улучшить маневренные качества судна при плавании под мотором и повысить надежность в случае поломки двигателя. Несмотря на это конструктор старался выжать из яхты исключительно высокие скорости под парусами. Хорошее поведение на волне и простота управления были самособой разумеющимися условиями для того, чтобы в большом океанское турне можно было выйти даже с малочисленной командой. Кроме того, хотелось, чтобы эту яхту могли строить судостроители-любители.

В соответствии с этими требованиями была спроектирована узкая яхта с двухскуловыми обводами и очень длинной ватерлинией, с простой и надежной конструкцией корпуса из металла. Равномерно распределенное по длине водоизмещение допускает плавание на сверхкритических скоростях, превышающих $3{,}2\sqrt{L}$ уз. В данном случае эта скорость составляет более 11 уз. Двухскуловые обводы корпуса допускают обшивку листами металла без предварительной гибки. Острые скулы, которые ориентированы вдоль потока воды, дают даже преимущества в дополнительном боковом сопротивлении дрейфу. Обводы корпуса «Гидры», как и обводы корпусов меньших яхт однотонного класса, явились результатом многочисленных буксировочных испытаний.

Затраты на разработку таких простых в постройке проектов яхт с обшивкой из плоских элементов явно оправдались. Одна из яхт, построенных по проекту «Гидры» из алюминиевых сплавов, прошла за сутки 227 миль. По сообщению американского журнала «Сэйлинг», такая же яхта во время гонок на Гавайских островах в 1975 г. под спинакером легко вышла на режим серфинга и достигла при этом скорости 14 уз. Для легкой гоночной яхты с водоизмещением всего 11 т при длине 14 м в этом, впрочем, нет ничего необычного. Такие результаты могли бы быть удивительными для моторно-парусной яхты с полным комфортом на борту, включая ванную.

Вариант яхты из стали, имеющий водоизмещение на 3 т больше, широко распространенный в Европе, хотя и не имеет спинакера и не глиссирует, но обладает хорошими ходовыми качествами на курсе бейдевинд и на лавировке.

Скорость этого узкого

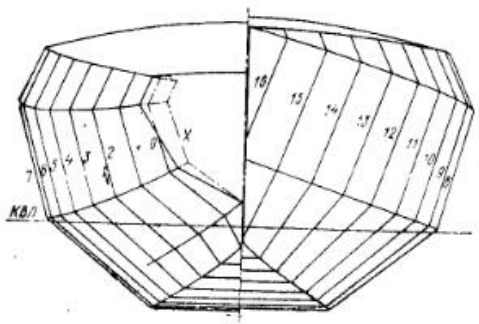


Рис. 59. Теоретический корпус яхты «Гидра».



доемко, что часто препятствует их использованию на большинстве верфей спортивного судостроения. Несмотря на это некоторые верфи нередко берут на себя часть расходов на постройку макета, имея в виду технические преимущества, которые дает внесение необходимых изменений в рабочий проект.

Нередко наглядные модели в уменьшенных масштабах оказываются полезными в устранении недоразумений между покупателем, верфью и конструктором. Часто такие модели изготовляются еще на стадии проработки технического проекта, особенно если на этом настаивает заказчик, который готов оплатить соответствующие расходы.

С плаза снимают необходимые размеры для развертки листов обшивки и изготовления шаблонов; эти данные затем используются при работе модельщиков, заготовителей деталей корпуса и судосборщиков.

*Лекала, матрицы и пуансоны* (рис. 61) относят к производственной оснастке, которая является вспомогательным средством для изготовления корпуса, но деталями конструкции корпуса их считать нельзя.

При постройке лекал и другой оснастки для формования корпусов яхт из пластмасс или формованной фанеры (шпона) эти элементы являются существенной статьей расходов, которые

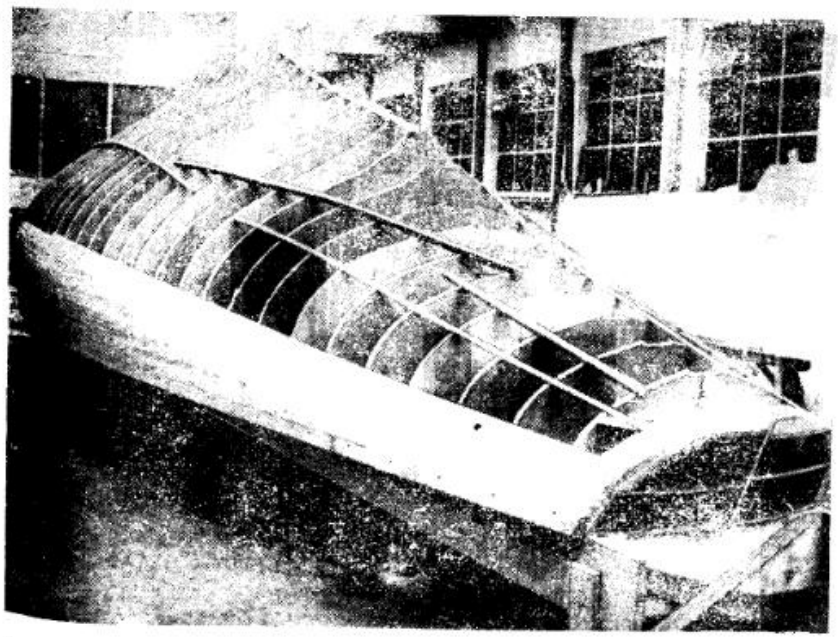


Рис. 61. Пуансон (болван) для постройки яхты из шпона.

несут заказчик и верфь при постройке судна. Матрица для формования корпуса часто стоит почти вдвое дороже, чем два выклеенных по ней корпуса.

Еще бо́льшая доля расходов затрачивается на изготовление «положительной» формы — пуансона, с которой потом снимают «отрицательную» форму — матрицу. Стоимость такой оснастки для постройки яхт из пластмасс часто превышает стоимость построенной по ней и полностью оснащенной яхты. Поэтому с помощью оснастки можно строить только серию из нескольких яхт, на которые можно разнести расходы по изготовлению оснастки. При использовании упрощенных методов постройки можно избежать этих дополнительных затрат, например, обшивая корпус листами стали, которые не требуют сложной лекальной гибки в двух направлениях.

Как для изготовления оснастки для формования корпусов яхт из шпона или стеклопластика, так и для изготовления литейных моделей фальшкилей необходима точная разбивка теоретического чертежа на плазе. С плаза снимают шаблоны поперечных сечений корпуса из фанеры, а при изготовлении литейных моделей для киля используют шаблоны ватерлиний.

# ГЛАВА 3. ПОСТРОЙКА ДЕРЕВЯННЫХ ЯХТ

Дерево — самый старый судостроительный материал, который сохраняет свое значение, несмотря на широкое применение многих новых материалов. Более того, в последние годы деревянные яхты вновь стали приобретать популярность.

В 50-е годы был создан своеобразный культ стеклопластика в яхтостроении, который только в настоящее время начинает сдавать свои позиции. В ФРГ — стране, где постройка деревянных яхт всегда отличалась высоким качеством, считают, что вряд ли можно построить яхту из другого материала, кроме дерева, которая имела бы такое благоприятное отношение доизмещения к длине по ватерлинии и такую долговечнс Хотя яхту достаточно легкой конструкции можно построит алюминиевых сплавов, но мало кто возьмет на себя смел утверждать, что металлическая яхта сможет плавать б 50 лет, т. е. быть долговечнее хорошей деревянной яхты. К пуса, построенные из стальных листов, обработанных мето пассивации, хотя и имеют приблизительно такую же высо долговечность, как деревянные корпуса клееной конструк но их масса почти вдвое больше.

Современные корпуса из пластмасс оказываются нам тяжелее деревянных, и, кроме того, их строители не дают н какой гарантии на такой же срок службы. Легкие пластмасс



вые корпуса трехслойной конструкции («сэндвич») хотя и могли бы конкурировать с деревянными корпусами облегченной конструкции, но до сих пор не показали приблизительно одинаковой прочности и долговечности. Корпуса из армоцемента, наконец, с гарантией прочности оказываются в 3—4 раза тяжелее и из-за неоднородности материала, как и пластмасса, могут иметь скрытые дефекты вследствие абсорбирования воды и последующей эрозии при минусовых температурах.

Дерево хотя и поглощает воду, но благодаря стойкой эластичной структуре клеток не подвержено эрозии. Опасность загнивания древесины можно свести до минимума правильным выбором породы и использованием соответствующей предварительной обработки (консервации) и современных лакокрасочных покрытий.

Природным недостатком древесины как судостроительного материала является различная прочность вдоль и поперек волокон. Благодаря изобретению фанеры и многослойных клееных конструкций устраиен не только этот, но также и другой природный недостаток древесины: ее деформация в зависимости от влажности. Так как в современном деревянном яхтостроении практически все заготовки режут на рейки и подвергают сильному высушиванию, то позднее в деталях могут возникнуть напряжения только вследствие набухания древесины. Действие этих напряжений, однако, можно устранить, если работа выполняется специалистами по дереву.

По сравнению с постройкой яхт из пластмасс возможности снижения трудоемкости при изготовлении деревянных яхт, конечно, ограничены, и не секрет, что высококачественная полностью клееная деревянная яхта примерно на 20% дороже хорошей яхты из стеклопластика. В последние годы все большее число покупателей готово оплатить постройку деревянной яхты, чтобы наряду с высокой долговечностью и благоприятным соотношением водоизмещения и длины иметь и другие преимущества, например эффект хорошей изоляции от шума моря.

Современные методы постройки деревянных корпусов с применением формованной фанеры или диагональной клееной обшивки на продольных связях имеют так же мало общего с традиционными методами постройки деревянных корпусов, как конструкция современного пластмассового корпуса с конструкцией туземных лодок, сделанных наподобие плетеных и обмазанных глиной корзин. Современный корпус деревянной яхты, построенный с использованием клеев на резорциновой смоле, близок по своим качествам к пластмассовому корпусу.

## 3.1. КОНСТРУКЦИЯ И РАЗМЕРЫ СВЯЗЕЙ

При проектировании новой яхты совершенно недостаточно в качестве прототипа использовать устаревшие конструкции. Почти ни одна из яхт, построенных из дерева с применением

современного метода склеивания, не была классифицирована, поэтому статистические данные классификационного общества неубедительны. Следовательно, конструктор должен полагаться в основном на свой собственный опыт. При этом неизбежны испытания специально изготовленных клееных образцов деталей, которые подвергают продольному сжатию и другим видам нагрузки. В области исследования современных конструкций деревянных корпусов, благодаря признанию этого строительного материала наиболее подходящим для высоких переменных нагрузок, в последние годы много сделано военно-морским флотом. Быстроходные торпедные катера и тральщики, для которых важны немагнитные свойства древесины, как и прежде, строятся большей частью деревянными с очень благоприятным соотношением массы и длины корпуса при высокой долговечности.

Конструкторы яхт, которые участвовали в развитии современных методов постройки корпусов из дерева, знают, что старые конструкции могут стать современными не только благодаря тому, что вместо свинцовых белил и шурупов в качестве средств соединения теперь применяют склеивание. Важно понять, что дерево вдоль волокон имеет достаточно высокую прочность, а поперек волокон — незначительную. Поэтому точное знание сил, действующих в соединениях корпуса деревянной яхты, является условием правильного его проектирования. Полностью клееный корпус не допускает возможности деформативных перемещений прочно вклеенных деталей; в более крупных конструкциях киля, стрингеров и т. д. должны быть предусмотрены средства против их изгиба.

Опытный конструктор точно знает, какую ширину склеиваемой поверхности должна иметь прилегающая к детали набора часть наружной обшивки, создающая напряжения. Это важно прежде всего при использовании клееных ламинированных шпангоутов. Неправильно сконструированные шпангоуты лопаются из-за чрезмерных напряжений наружной обшивки, возникающих, например, при внезапно налетевшем шквале или при ударе о причальную сваю. Проблема конструирования корпусов на полностью клееных шпангоутах решается применением дополнительных покрытий поверхностей, защищающих от влаги массивные деревянные детали. Приклеенные планки наружной обшивки дополнительно крепят к шпангоутам шурупами, болтами или на заклепках.

Этот метод, конечно, не является последним словом в конструировании и технологии постройки яхт. Альтернатива заключается в использовании ненабухающей фанеры или двухслойной конструкции наружной обшивки по продольно-поперечной или продольной системе набора. Однако только некоторые конструкторы обладают соответствующим опытом в этой области и только они в состоянии определить оптимальные раз-



меры элементов конструкций. То же относится и к формуемым из шпона корпусам, которые используются при серийном производстве деревянных яхт. Квалифицированная верфь может строить легкие деревянные яхты, не прибегая к чрезмерному уменьшению сечений деталей набора, что грозит сокращением продолжительности жизни яхты. Многие деревянные яхты при соответствующем уходе плавали более 50 лет. Можно ожидать, что современные методы постройки яхт полностью клееной конструкции позволят строить суда еще более долговечными, если их корпуса будут правильно сконструированы.

## 3.2. СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛЕ

Подробные сведения о дереве заняли бы много томов, но для настоящего «понимания дерева» и этих томов недостаточно без многолетней практики. Цель приводимых здесь весьма кратких сведений состоит в том, чтобы дать обзор свойств некоторых пород древесины, применяемых для постройки яхт. Сравнение прочности и долговечности древесины — наиболее важные данные для конструктора и строителя яхт. Дерево само по себе, время его рубки, процесс сушки представляют интерес больше для торговца лесом и лесозаготовителя, который покупает дерево на корню, режет его на пиломатериалы и хранит. Мелкие верфи и любители должны полагаться в этом отношении на свою квалификацию и опыт.

*Работа дерева* или *деформация древесины в зависимости от ее влажности*, имеет важное значение для дальнейшей обработки древесины. В высушенной на воздухе древесине содержание влаги составляет около 15%. Это среднее значение колеблется в зависимости от времени года, влажности и температуры воздуха. В такой древесине можно, например, снизить содержание влаги до 6—12%, и тогда заготовки уменьшатся в объеме. Когда влажность деревянных деталей в подводной части корпуса увеличивается, они набухают и создают значительные напряжения в корпусе, если не воспрепятствовать этому с помощью специальных конструктивных мер. Усушка (усадка) древесины различна в зависимости от того, измеряют ли ее вдоль волокон, в радиальном направлении или в направлении годичных колец (тангенциальном). Древесина для постройки яхт влажностью 15%, которую высушивают до влажности 6%, имеет усадку вдоль волокон около 0,1—0,15%; в радиальном направлении 1,5—1,7% и в тангенциальном направлении 2,6—2,8%. Хорошие сорта тика и красного дерева могут иметь усадку почти вдвое меньшую. Усадка дуба, лиственницы, ели и сосны составляет около 30—50% указанных значений.

Для оценки набухания древесины при повышении влажности от 6 до 15% подходят те же самые значения. С возрастанием содержания влаги до 30% набухание древесины

увеличивается почти вдвое. Однако при полностью клееной конструкции отдельные детали оказываются разделенными изолирующей пленкой клея, поэтому поглощение влаги существенно уменьшается.

В современном яхтостроении с усушкой и набуханием борются путем изоляции древесины от проникновения в нее влаги. В самом совершенном виде это наблюдается у фанеры. Фанера принимает исключительно мало воды, так как клетки древесины, уменьшенные методом усушки до 6—8%, благодаря совершенной изоляции почти не впитывают влагу. Спрессованный подобным образом пористый пластик также почти не впитывает воду. Если при обработке древесины в ней сохраняется содержание влаги 6—8%, то даже летом при самом сильном воздействии солнца древесина не подвергается дальнейшей усушке. При понижении влажности с 6 до 0% последующая усушка возможна практически при нагреве в условиях очень низкой влажности воздуха или в сушильной печи.

Влажность древесины может быть измерена достаточно точно. В сушильном приборе образцы древесины взвешивают на точных весах, которые настроены на нуль, и разницу в массе после высушивания считывают со шкалы как содержание влаги. Гигрометры на основе измерения электрического сопротивления древесины дают лишь приближенную оценку содержания в ней влаги.

*Коробление древесины* является, как правило, следствием ее усушки. Поскольку тангенциальная усадка при высушивании почти в два раза больше, чем в радиальном направлении, особенно сильно коробятся доски тангенциальной распиловки (рис. 62). Такие доски с параллельными пласти годичными кольцами для постройки яхт неприемлемы.

Судостроители используют доски радиальной распиловки с перпендикулярными пласти годичными кольцами или же с наклонными кольцами, но не более чем на 30° к кромке доски. При вырезании таких досок из бревна, несмотря на специальную разметку, получаются большие отходы. Несмотря на это, необходимо придерживаться этого требования, если речь идет о прямых планках, планширях и т. д. Для клееных (ламинированных) деталей можно использовать рейки с наклоном годичных колец к кромке до 45°, так как располагая соответствующим образом рейки внутри детали, можно компенсировать повышенную деформацию таких реек.

Доски наборной палубы должны быть непременно радиальной распиловки с годичными кольцами, располагаемыми по возможности ближе к перпендикуляру к пласти.

*Долговечность, прочность и плотность* древесины являются важными факторами для постройки судов. На основании результатов исследований различных институтов по дереву были установлены классы долговечности. В среднеевропейских условиях породы древесины оценивают по продолжительности ее службы в годах для неконсервированной древесины при ее контакте с землей:

| Класс | Продолжительность службы, лет | Прочность древесины |
|---|---|---|
| 1 | Более 25 | Очень хорошая |
| 2 | 15—25 | Хорошая |
| 3 | 10—15 | Средняя |
| 4 | Менее 10 | Посредственная |
| 5 | Менее 5 | Плохая |

Продолжительность использования древесины, подвергнутой консервации, конечно, существенно больше и легко увеличивается при хранении в воде только один сезон. Прочность древесины в зависимости от ее породы и приложения нагрузки различна. Самую высокую прочность древесина имеет при действии нагрузки вдоль волокон. При сжатии вдоль волокон образец разрушается уже в случае действия примерно половины напряжений, достигаемых при разрушении его от растяжения. При растяжении поперек волокон 1/16 часть прочности на растяжение вдоль волокон является контрольным значением, которое, однако, может снижаться почти до нуля. В случае сжатия поперек волокон образец разрушается при напряжениях от 10 до 20% напряжений на разрыв при растяжении вдоль волокон. Эти напряжения на разрыв при сжатии поперек волокон являются также основой для расчета разрушающих напряжений при изгибе.

Плотность древесины в так называемом воздушно-сухом состоянии (с влажностью около 15%) находится во взаимо-

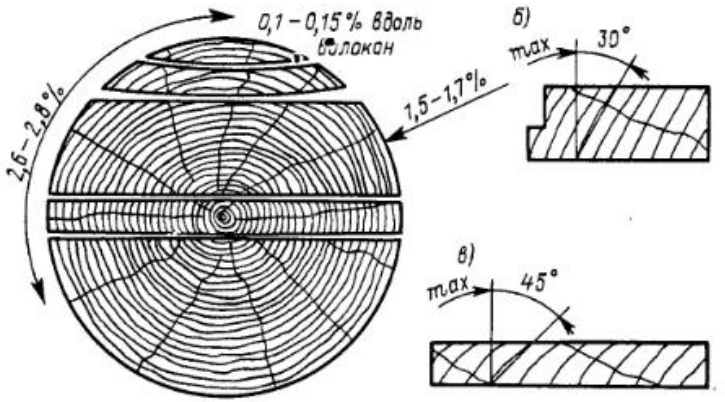



Рис. 62. Зависимость усадки заготовок из древесины от способа распиловки бревна (*а*); допустимое расположение годовых колец в досках обшивки (*б*) и планках для ламинированных конструкций (*в*). Указанные на рисунке проценты усадки относятся к сушке древесины на воздухе с 15% влажности до 6%.

связи с прочностью и некоторым образом также с долговеч-ностью сделанных из нее деталей. Чем прочнее и долговечнее древесина, тем, к сожалению, она тяжелее. Поэтому детали, которые мало подвергаются погодным условиям и большим нагрузкам, изготовляют из более легкой древесины. Сведения о породах древесины, применяемых в яхтостроении, приведены в табл. 3.

*Таблица 3*

**Свойства пород древесины, используемой в судостроении**

| Порода древесины | Класс долговечности | Прочность на растяжение вдоль волокон, $H/мм^2$, примерно | Плотность, $г/см^3$, примерно |
|---|---|---|---|
| Тик | 1 | 115 | 0,69 |
| Ироко (африканский тик) | 1 | 79 | 0,63 |
| Макоре | 1 | 85 | 0,66 |
| Афромозия | 1 | 130 | 0,69 |
| Дуб | 2 | 110 | 0,67 |
| Красное дерево (мэхогани) | 2 | 100 | 0,54 |
| Сипо | 2 | 110 | 0,59 |
| Кайя (сорт африканского красного дерева) | 2—3 | 75 | 0,50 |
| Лиственница | 3 | 105 | 0,59 |
| Орегонская сосна | 3 | 100 | 0,54 |
| Сосна | 3 | 100 | 0,52 |
| Ель | 4 | 80 | 0,47 |
| Пихта | 4 | 80 | 0,47 |
| Спрус | 4 | 85 | 0,47 |

Для несущих связей набора яхт, которые одновременно должны обладать высокой прочностью и долговечностью, легко обрабатываться и хорошо склеиваться, в настоящее время используют предпочтительно древесину сипо. Несмотря на некоторую склонность к косослойности, этот относительно недорогой материал используется в яхтостроении с большим успехом. Ни тик, ни красное дерево не могут с ним конкурировать вследствие их высокой стоимости. Подобно тому другие породы древесины, относимые к классам долговечности 1 и 2, не могут сравниться с сипо, так как они плохо обрабатываются, плохо склеиваются или недостаточно прочны. Для особенно легких яхт наружную обшивку чаще всего выкл вают из дерева кайя. Это единственная из цветных экзоти ских пород, которую можно поставить в один ряд с доро африканским красным деревом мэхогани. Под лаком ка очень хорошо смотрится в отделке и оборудовании кают.

Все хвойные породы относятся по долговечности к кла 3—4, и их нельзя применять ни для деталей, подвержен воздействию высокой влажности, ни для тропических услов



Аналогично обстоит дело с габун, долговечность которой бывает различна в зависимости от области, где растет дерево. Кроме того, габун имеет тот недостаток, что неспециалисту трудно по внешнему виду отличить ее от чрезвычайно подверженного грибкам тропического дерева ломба, которое иногда используется как внутренний слой для фанеры из габун. Хорошая отобранная габун выдержала испытание в течение многих десятилетий как материал для корпусов легких спортивных лодок. При постройке яхт эта древесина используется только для внутренней отделки, так как содержание влажности в ней никогда не превышает 20%, даже если температура окружающей среды выше 20°С. Габун и все названные выше хвойные породы подвержены плесени и грибковым поражениям. Другие приведенные в таблице породы дерева, включая дуб, наоборот, исключительно мало подвержены воздействию грибков, гнили и поражению насекомыми.

Современное яхтостроение нельзя представить без *фанеры*. Благодаря склеиванию нескольких слоев древесины вдоль и поперек волокон достигается приблизительно одинаковая прочность фанеры в обоих направлениях. В третьем направлении, а именно в направлении толщины листа, фанера все же обладает незначительной прочностью и при проектировании яхты это надо учитывать.

Предел прочности обычной морской фанеры при растяжении вдоль листа составляет 40 $Н/мм^2$ и выше; поперек листа — более 30 $Н/мм^2$ *. Чтобы достичь этих значений прочности, для фанеры берут древесину 1-го и 2-го классов долговечности, такую, как тик, макоре, сипо и другие прочные породы. Кайю и настоящее красное дерево применяют реже, так как древесина кайи менее прочная, а красное дерево слишком дорогостоящее. Фанера из тика также недешева, поэтому в большинстве случаев тик идет на внешний слой фанеры, а для внутренних слоев используют сипо.

Толщина внешнего слоя фанеры для постройки лодок должна составлять не менее 1,5 мм. Но поскольку наружные поверхности требуют доработки, имеет смысл увеличивать толщину наружных слоев до максимально допустимой 2,6 мм (для фанеры толщиной до 15 мм) и 3,8 мм (для фанеры толщиной более 15 мм). Для внутренних слоев морской фанеры используют только самую высококачественную древесину без сучков и других дефектов; полосы шпона во внутренних слоях должны быть плотно подогнаны и склеены друг с другом. Это делает специальную морскую фанеру очень дорогостоящей. К этим затратам следует еще добавить расходы за прием материала Германским Ллойдом или другим классификационным

* 1 Ньютон эквивалентен 0,102 кгс.

обществом, печать которых служит гарантией выполнения по ставленных требований.

Фанера для постройки лодок должна быть изготовлен с помощью клеев на синтетической смоле, стойкость которы против действия воды и погодных условий нужно проверить соответствующими испытаниями. Обычно применяют затвер девающий в горячем состоянии клей на фенолформальдегидно смоле, что позволяет применить горячее прессование фанеры Для определенных сортов древесины, например кайя, чере поры которой на поверхность может выступить коричневы фенолформальдегидный клей, применяют иногда высококачест венный светлый клей на меламиновой основе.

Применение водостойких клеев для изготовления фанеры не гарантирует получения водостойкой фанеры. Подобная фа нера может использоваться для постройки домов и в качестве опалубки при бетонных работах. Однако для строительной фанеры не требуется выдерживать необходимую толщину слоев производить качественный отбор древесины и обеспечивать требуемую плотность подгонки всех ее слоев, как для судо строительной фанеры. Несмотря на это, при определенных условиях хорошую строительную фанеру применяют для по стройки корпусов лодок и яхт, так как ее стоимость состав ляет только половину цены морской фанеры.

Первое условие для морской фанеры — применение сорта древесины с высоким классом долговечности, например сипо или макоре, для всех слоев фанеры вдоль и поперек. Второе условие заключается в том, чтобы детали из этой фанеры дли тельное время не соприкасались с водой. Она пригодна для конструктивных внутренних связей палубы, надстроек и кокпи та, которые только временами бывают в воде. Другое условие применения морской фанеры в местах, которые подвержены воздействию внешней среды или трюмной воды,— это надеж ная защита кромок фанеры посредством наклейки на них реек или другим способом. Если эти условия выполнены, то можно рассчитывать на достаточную долговечность конструкции.

Еще один важный критерий — сохранность внешнего слоя фанеры, который шлифуют чаще всего до толщины менее 1 мм. В процессе шлифования иногда неожиданно обнаруживаются места склеивания. Это затрудняет использование фанеры для изготовления деталей, которые должны быть покрыты лаком и сохранить естественную текстуру дерева.

*Облицовочная фанера*, или декоративная, по технологии производства может быть рулонной или ножевой. С точки зрения применения для отделки яхт между ними не существует никакой разницы. Значительно более дешевая рулонная фанера, которую почти всегда используют для внутренней отделки имеет рисунок с прожилками (из-за спиралеобразного процесса раскручивания заготовки — древесного ствола). Фанеру



ножевую, предпочитаемую для поверхностей, покрываемых лаком, режут с помощью ножа, расположенного тангенциально к основе. Она значительно дороже в изготовлении и ценнее. Так как для ножевой фанеры используют самую лучшую и чистую древесину, то ее поверхность чище и глаже, чем поверхность рулонной фанеры. Благодаря этому экономят обычно на предварительной лакировке и шлифовке. Применять ножевую фанеру для окрашенных или покрытых цветным лаком деталей — ненужное расточительство, так как за более высокую цену не приобретается преимуществ в отношении прочности и долговечности.

Содержание влаги в изготовленной фанере (вынутой из нагретых прессов) оказывается ниже 6%. Перед обработкой, благодаря соответствующему ее хранению и увлажнению, это содержание повышается самое меньшее до 8%.

В судостроении чаще всего применяют листы фанеры размером 2500 × 1250 мм. Выпускаются также листы шириной 1530, 1730 и 1830 мм. Некоторые заводы изготовляют листы ножевой фанеры очень редкого и дорогого формата — длиной 3500 мм.

## 3.3. ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Древесина — неоднородный материал, при работе с которым нужно принимать во внимание вид его обработки: пилением, строганием или фрезерованием (вдоль волокон или поперек). Обрабатывать дерево — приятная и чистая работа, которая требует аккуратности и точности при подгонке деталей. Ниже кратко рассказывается о самых важных процессах по обработке судостроительной древесины, чтобы дать представление о современных методах, применяемых при постройке деревянных яхт.

*Пиление, строгание и фрезерование* — основные процессы обработки древесины, используемые при заготовке деталей корпусов яхт. Наряду с пилорамой, ленточной и дисковой пилой, различными ручными пилами существует еще два вида пил, позволяющих обрабатывать древесину более рационально. Ножовка с обушком, называемая на жаргоне шлюпочников шлицовкой, незаменима при монтажных работах на борту и используется прежде всего при сборке. На современно оснащенных верфях есть еще многодисковая пила, с помощью которой за одну операцию можно распилить большое количество досок. Поверхность разреза при этом получается такая гладкая, что доработка рубанком не требуется. С другой стороны, поверхности досок несколько шероховаты, что как раз является идеальным условием для склеивания. Поэтому применение многодисковой пилы при постройке яхт клееной конструкции дает значительную экономию труда.

*Строгание* обычным ручным рубанком в яхтостроении применяется все реже. Но для некоторых рабочих операций он незаменим. Это касается прежде всего точных подгоночных работ и тщательной отделки наружной обшивки, палубы и надстройки. Для выполнения таких работ ручной электрорубанок, который сегодня заменил обычный ручной, часто оказывается слишком грубым, тяжелым и мало чувствительным инструментом. Подгонку досок наружной обшивки, например, можно выполнить чисто только с помощью ручного рубанка. При подгонке фанеры применяют маленький стальной ручной рубанок — специальный торцовый.

Для придания окончательного лоска верхнему краю наружной обшивки, планширю и аналогичным деталям необходим еще ручной фуганок.

Любители-судостроители часто обходятся нормальным рубанком с двойной железкой и маленьким стальным торцовым рубанком.

*Фрезерование* в яхтостроении применяется чаще всего для снятия малки с кромок шпангоутов. Для этого требуются фрезерные станки с регулируемой опорной плитой, которую можно установить под различными углами к головке фрезы.

При постройке яхт с диагональной обшивкой на продольных стрингерах пользуются ручным фрезерным инструментом с упором, чтобы подгонять планки друг к другу. Его часто применяют и в серийном производстве для подгонки кромок обычных продольных досок наружной обшивки.

*Шлифование* электрофицированным ручным инструментом выпуклых поверхностей наружной обшивки старые судостроители отвергают. Однако при известном опыте шлифование с помощью усовершенствованных инструментов обшивки форванных на клею корпусов стало возможным и обычным делом. Конечно, таким способом нельзя достичь такого же качества поверхности, как при отделке наружной обшивки ручным рубанком, доработке с помощью цикли и заключительной ручной шлифовке.

Станки для обработки дерева, такие, как стационарные прогоночные, рейсмусные, прокатно-шлифовальные, сверлильные, а также ручные дисковые пилы, электрические дрели и отвертки являются непременным оборудованием любых верфей по постройке яхт. Любителю, который получает дерево в заготовках, станки большей частью не нужны. Он, как правило, обходится простым набором ручного инструмента, и, если в составе этого инструмента имеются электрическая дрель и электрическая дисковая пила с набором пил и фрез, это означает уже хорошее оборудование.

При современных методах постройки деревянных яхт объем *сверления* для крепления деталей корпуса на болтах и шурупах постепенно уменьшается. Любое отверстие означает сни-



жение прочности, а если оно на палубе или в наружной обшивке, то и возможность появления течи.

При обычной конструкции корпуса с поперечным набором пересекающиеся детали приходится подтягивать с помощью болтов, шурупов и даже заклепок. Это теоретически самое прочное соединение деревянных деталей, которое воспринимает нагрузку на разрыв поперек волокон. Но, как уже говорилось, опытный конструктор может рассчитать даже силы набухания наружной обшивки и преодолеть их только применением склеивания.

В конструкции из фанеры соединения на шурупах предусмотрены только с целью достижения необходимого давления для запрессовки деталей при склеивании. Удалять после этого крепеж, конечно, не имеет смысла, так как заделывать отверстия в обшивке затруднительно и, кроме того, приходится оставлять снаружи впитывающий воду торец пробки.

Сверление отверстий под болты, шурупы и заклепки производится с помощью нормальных спиральных сверл. Диаметр сверла выбирают на 0,2—0,5 мм меньше диаметра болта или шурупа для более плотного их крепления в дереве. Если болты и заклепки должны проходить насквозь через детали набора, соприкасающиеся с водой (наружная обшивка, палуба, надстройка), часто делают пробное сверление сверлом малого диаметра. Нужна гарантия того, чтобы болт или заклепка сидели в дереве ровно и плотно, но и не приводили к его разрыву. Допуски в диаметрах сверл и различная их заточка делают такую пробу рациональной.

Предварительное сверление имеет большое значение для создания удерживающей силы шурупа в дереве. Спиральные сверла затачивают так, что одна часть его длины имеет диаметр нарезки стержня шурупа, а другая — диаметр гладкой части стержня шурупа. Точнее говоря, для каждого шурупа нужно специально заточенное сверло. Сверлят обычно с ограничением глубины с помощью ограничителя, который может представлять собой круглый кусок фанеры определенной толщины или патрон, который позволяет зажимать сверло на нужной глубине сверления. Если нужно сделать только несколько отверстий определенных размеров, то их можно сверлить последовательно двумя спиральными сверлами: сначала на всю длину шурупа с диаметром сверла, равного диаметру нарезки стержня, а затем — на длину гладкой части шурупа сверлом соответствующего диаметра.

Для шурупов предварительное сверление еще важнее, чем для сквозных болтов или заклепок. Шуруп должен плотно входить в свое отверстие и при последних оборотах отвертки идти прямо, однако при этом не должен сильно подвергаться нагрузке на скручивание, чтобы не срезалась его головка.

Отверстия под пробки должны иметь диаметр головки шу
рупа плюс примерно 1 мм и быть такими глубокими, чтобы го
ловка были утоплена в древесину примерно на диамет
стержня шурупа. Если дерево зачищают, то нужно утопит
головки шурупов еще глубже. На палубе из тика головк
шурупов надо утопить глубже еще примерно на 2 мм, чтоб
иметь запас древесины над ними для зачистки.

*Пробки* для заделки головок болтов и шурупов изготовляю
из того же дерева, что и обшивку или палубу, на стационар
ном горизонтально-сверлильном станке. Их вбивают в отвер
стия на свинцовых белилах, подкрашенных под цвет дерева
Так как свинцовые белила, содержащие масло, не обладают
адгезией к синтетическим лакам и краскам из двух компонен
тов, то деревянные пробки нередко ставят на клею. Высоту
пробок нужно определить сразу, поскольку при срезании вы
ступающей части пробки стамеской случается, что пробка
лопается из-за перекоса слоев древесины ниже поверхности
доски обшивки. Если она лопнет, ее нужно заменить, пока
клей еще не встал.

*Крепление болтами* деревянных деталей корпуса при совре
менных методах постройки с использованием клея стало ред
костью. Такой метод крепления, однако, неизбежен в случаях,
когда надо соединить, например, бимсы деревянной палубы с
кницами металлического корпуса, балластный фальшкиль
с деревянным килем и разные металлические детали с деревян
ной палубой. Крепление болтами деревянных бимсов с метал
лическими кницами осуществляют посредством так называемых
глухарей — шурупов с большой круглой плоской головкой и
четырехгранной насадкой, срезаемой при завинчивании винта.
Между металлической кницей и гайкой можно положить пру
жинную шайбу из нержавеющей стали, хотя вибрация болта
в дереве — явление редкое и опасность отвинчивания глухаря
может появиться только при сильной вибрации двигателя.

Нормальный болт с диаметром потайной головки вдвое
большим диаметра болта может смять древесину только
высоких нагрузках. Благодаря конусной под 90° голо
болта составляющие давления действуют на твердый то
древесины. Плоские шайбы, диаметр которых только в
раза превышает диаметр болта, как подкладочные шайбы
дерева непригодны. Если время от времени сильно подтягив
болты, шайбы могут быть буквально втянуты в древес
поперек волокон. Нужно использовать подкладочные шайбы
с диаметром не менее трех диаметров болта и толщиной не
менее 0,25 его диаметра.

В качестве материала для болтов применяют оцинкованную
сталь, особую латунь 59, различные сорта бронзы и нержавею
щей стали. Подкладочные шайбы и гайки должны быть из
того же материала, что и болты.



Шайбы болтов, которые могут подвергаться значительным нагрузкам, должны иметь диаметр, равный четырем диаметрам болта, и толщину не менее половины диаметра болта. Если сильно нагруженные болты ставят с головкой, утопленной в древесину, диаметр головки должен быть равен не менее 2,5 диаметрам болта. Поскольку таких стандартных болтов нет, их приходится изготовлять в штампах на верфи или специально заказывать. Большинство болтов делают, как правило, в виде винтов с потайной головкой и со шлицами. Так как выфрезерованные шлицы у болтов из нержавеющей стали все же корродируют, на верфях, отличающихся высоким качеством работы, изготовляют часто болты с плоской полированной головкой.

*Соединения на винтах-шурупах* сменили при постройке деревянных яхт прежние крепления на медных заклепках. При правильном использовании шурупов соединение оказывается почти таким же прочным, как и на заклепках.

Медные заклепки имеют существенный недостаток: гнутся из-за сильной клепки. Согнутые заклепки обнаруживают только по тому признаку, что под нагрузкой они сдают и соединение ослабевает. Дорогостоящие поначалу винты по дереву пробили себе дорогу в яхтостроении после того как результаты испытания на прочность доказали надежность креплений на винтах-шурупах. При испытании креплений оковок на мачте оказалось, что шуруп длиной, равной 10 диаметрам его стержня, при чрезвычайной нагрузке скорее разрывается, чем выходит из дерева. Испытывались латунные шурупы в относительно мягкой древесине спруса, а сегодня ставят более прочные винты из нержавеющей стали и бронзы в довольно твердых породах корабельной древесины (красного дерева и тика). Решающим условием прочности соединения на шурупах является правильное предварительное рассверливание отверстий под шуруп.

При современных методах постройки с использованием клееных конструкций шурупы применяют в основном для создания необходимого давления при склеивании больших по площади конструкций из фанеры, для которых усилия струбцин оказывается недостаточно. По соображениям прочности здесь хватило бы латунных винтов. Что касается необходимой долговечности, то для шурупов целесообразнее использовать латунь 60 (лучше — особую латунь 59, содержащую никель) либо более прочные материалы: оловянную или марганцовистую бронзы, нержавеющие стали. Так как нержавеющая сталь без присадки молибдена сильно подвержена коррозии, необходимо использовать сталь с содержанием молибдена не менее 2%.

При полностью клееных конструкциях не лишним будет дополнительно закрепить шурупами концы досок наружной обшивки и другие соединения набора корпуса для прочности на

случай чрезмерных нагрузок. Детали, в которых просверлены отверстия под шурупы, перед склеиванием надо тщательно очистить от опилок и заусениц по краям отверстий.

Перед установкой шурупов в рассверленные отверстия для более легкого ввинчивания их в дерево концы шурупов раньше погружали в чистые цинковые белила. Но содержащие олифу цинковые белила непригодны при использовании клеев, как и для последующей окраски корпуса яхты двухкомпонентными красками. В качестве заменителя белил сегодня применяют эластичные пасты на полиуретановой основе. Вошло также в обычай использовать клей без добавления отвердителя в качестве смазки для ввинчивания шурупов.

### 3.4. СКЛЕИВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ

Применение *склеивания* жидкой нерастекающейся резорциновой и фенолформальдегидной смолой явилось таким же мощным толчком для улучшения качества постройки яхт из дерева, как пескоструйная обработка и длительная консервация — для постройки яхт из металла. В то время как на конструкцию металлических яхт упомянутое усовершенствование практически не повлияло, появление методов прочного и долговечного склеивания сыграло большую роль в проектировании деревянных судов. Однако прошли многие годы, пока конструкторы и верфи оценили склеивание с его огромными возможностями для создания оптимальных конструкций.

Из описания современных методов постройки яхт из дерева нетрудно видеть, какое значение имеет материально оправданная конструкция для снижения трудоемкости постройки и, следовательно, для снижения стоимости яхт. В отличие от склеивания фанеры, которое осуществляется в подогретых прессах, для монтажного склеивания деталей корпуса необходим клей, заполняющий швы и затвердевающий в холодном состоянии.

Клей на резорциновой смоле, состоящий из двух компонентов, настолько отвечает всем требованиям, что его применение не только при постройке яхт, но и в общем строительстве дерева. Клеи холодного отверждения на другой химической основе не подходят по цене и поэтому не используются для постройки деревянных яхт. Резорциновый клей, как сокращенно называют клей на резорциновой фенолформальдегидной смоле, является смесью смолы и отвердителя и применением различных отвердителей его можно приготовить различной вязкости. Наряду с хорошей механической прочностью и высокой долговечностью резорциновый клей устойчив против кислот, слабых щелочей, растворителей, плесени, грибков и микроорганизмов. Кроме того, он устойчив против непогоды, горячей воды и ки-



кой температуры. Хотя по инструкциям DIN разрешается вводить в клей до 30% заполнителя (каолин и древесную муку) для повышения вязкости и снижения стоимости клея, при постройке яхты этого не делают. Здесь в большинстве случаев точность подгонки так велика (толщина зазоров при норме 0,1—0,2 мм), что заполнять швы затвердевающим клеем излишне.

Поверхности деталей перед склеиванием достаточно механически обработать на строгальном станке или на высокооборотных многодисковых пилах. Важно, чтобы инструмент и поверхности деталей были тщательно очищены от пыли и загрязнений. Только склеиваемым поверхностям деталей из очень твердых пород древесины, например макоре, рационально придавать шероховатость с помощью зензубеля или рашпиля.

Склеивать можно при содержании влаги в древесине 6—25%, но лучше всего в диапазоне 12—16%. Обе детали, подлежащие склеиванию, должны иметь разницу в содержании влаги не больше чем 3% и температуру не ниже +10°С.

При приготовлении клея смешивают основу клея — смолу со строго определенным количеством отвердителя, которое в зависимости от сорта древесины составляет около 20% массы смолы. Очень важно тщательно размешать смесь. В зависимости от температуры окружающей среды пригодность резорцинового клея к употреблению составляет от 45 мин до 8 ч. Крайние значения относятся к температурам 30 и 10°С. При 20°С клей сохраняет клеящие свойства в течение 2—3 ч.

Размешанный клей наносят на склеиваемые поверхности кистью или валиком (требуется самое минимальное количество клея — 225 г/м²). При высокой температуре окружающей среды и небольшой влажности воздуха нужно наносить клея немного больше. При 20°С намазанные клеем поверхности выдерживают открытыми 8—10 мин, а затем их соединяют.

Запрессовку деталей нужно осуществлять при таком давлении, которое необходимо для равномерного контакта склеиваемых поверхностей. Для этой цели достаточно использовать нормальные струбцины или сжимающие устройства. Самое минимальное время, в течение которого надо выдерживать детали под давлением, составляет при 20°С примерно 4 ч. Однако, если речь идет о деталях, склеенных с изгибом, то это время должно быть удвоено.

В течение времени выдержки под давлением склеиваемых деталей надо избегать сильных сотрясений. По этой причине прибивание гвоздями склеиваемых деталей исключается. Прочность и стойкость склеенных деталей к воде достигается только спустя 7 сут их выдержки под давлением при температуре около 20°С. Благодаря повышению температуры время зажима можно значительно сократить. Минимальное время зажима при 30°С составляет всего 1,5 ч, если детали не будут

находиться под напряжением от изгиба. Приведенные здес данные нужно рассматривать как контрольные цифры и отн сятся они к определенной марке клея CIBA—GEYGY Aerodu 185B с отвердителем HRP150. Более точные данные об это клее, хорошо зарекомендовавшем себя в яхтостроении, а така о других клеях находят в инструкциях, даваемых изготовит лями клеев.

*Ламинирование* — изготовление деталей из пакета тонки реек или досок — дает в яхтостроении значительные выгоды При изготовлении шпангоутов оно заменяет распаривание гнутье и связанный с этим недостаток прочности из-за сжаты волокон (рис. 63). Ламинированные шпангоуты не только проч нее, но по сравнению с гнутыми под паром шпангоутами хоро шо сохраняют приданную им форму.

При изготовлении продольных связей, таких, как киль стрингеры и привальные брусья ламинирование позволяет по лучить основные детали без соединений, что дает возможность строить из дерева суда почти неограниченных размеров. Ла минирование важных деталей набора в сочетании со склеива нием дает качественный полноценный корпус, у которого мало вероятно появление неплотных мест при разбухании или

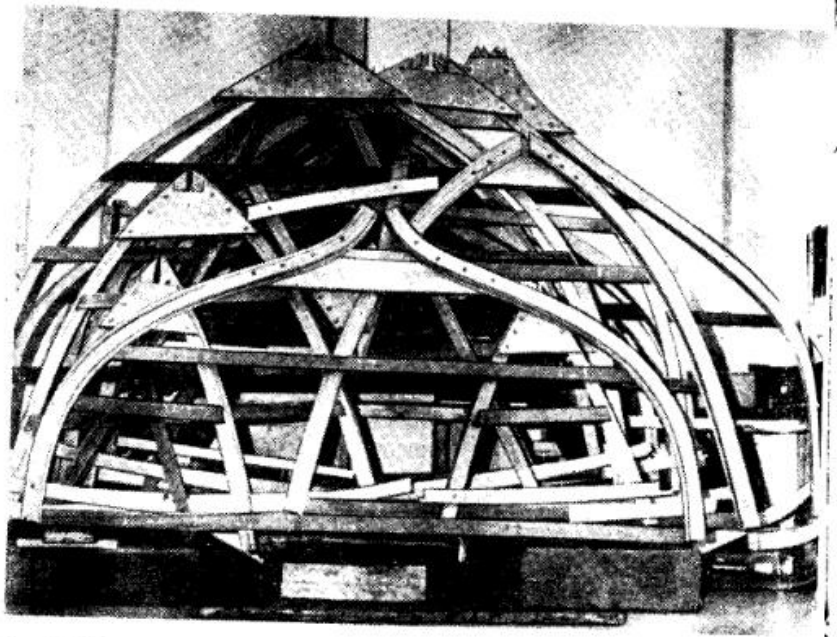


Рис. 63. Ламинированные шпангоуты не только прочнее, но лучше сохраняют приданную им форму, чем традиционные гнутые.



усушке даже через десятилетия. Поскольку для ламинированных деталей используются рейки толщиной до 25 мм, облегчается проблема сушки нарезанных заготовок перед склеиванием. Процесс ламинирования гнутых деталей очень прост. На заранее изготовленный шаблон-цулагу укладывают отдельные рейки с припуском примерно 5—10 мм по ширине. Толщину рейки выбирают заранее такой, чтобы рейка могла гнуться по заданной кривой, не ломаясь. Опыты с различными породами древесины при влажности воздуха 12% дали следующие минимально возможные радиусы изгиба, которые у древесины с содержанием влаги только 6% можно уменьшить еще примерно на 20%:

| Порода древесины | Радиус изгиба, в толщинах планки (ламели) | Порода древесины | Радиус изгиба, в толщинах планки (ламели) |
|---|---|---|---|
| Тик | 85 | Дуб | 70 |
| Ироко | 85 | Лиственница | 100 |
| Макоре | 110 | Орегонская сосна | 100 |
| Сипо | 110 | Пихта | 100 |
| Красное дерево | 100 | Ель | 100 |
| Кайя | 85 | Спрус | 100 |
| Агба | 70 | | |

Расстояние между струбцинами выбирают таким, чтобы клей, нанесенный с двух сторон на рейку, выступал равномерно около кромок шва. Для ламинирования палубных бимсов, которые обычно все имеют одинаковую погибь, можно изготовлять также положительный и отрицательный шаблоны, которые затем только с помощью нескольких струбцин сжимают рейки между собой.

Как и при всех других видах склеивания, надо соблюдать необходимое время выдержки под давлением и в течение семи

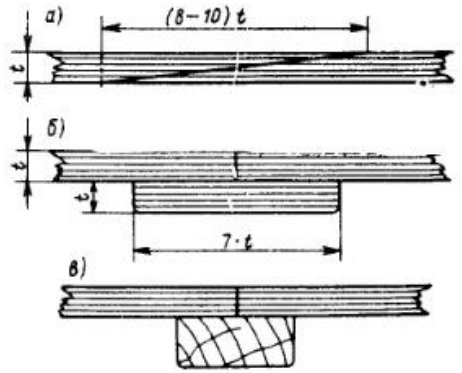



Рис. 64. Типы соединений листов фанерной обшивки: *а* — соединение «на ус» — лучший тип клееного соединения (рекомендуется применять для стыков, направленных поперек волокон наружного слоя фанеры); *б* — стык с накладной планкой (рекомендуется для швов, которые ориентированы по направлению волокон наружного слоя фанеры; накладную планку делают из фанеры той же толщины и шириной, равной самое меньшее семикратной толщине фанеры); *в* — стык с накладной планкой из рейки (имеет небольшую поверхность склеивания, вследствие чего при нагрузках есть опасность разрыва поперек волокон).

последних дней не давать ненужных нагрузок на ламинир
ванные детали. Толщина реек у гнутых деталей должна соста
лять 5—25 мм; на прямых частях деталей она может быть ув
личена до 40 мм. Если ламинированные соединения состоя
более чем из пяти реек, допустимо стыковать внутренние пр
мо, при условии, что расстояние до следующего стыка в смеж
ной рейке составляет не менее 50 ее толщин, а через рейку
не менее 30 толщин. Наружные рейки склеивают «на ус» с дли
ной заусовки, равной не менее шести толщин рейки, а при тол
щине 10 мм — не менее восьми.

При соединении листов фанеры и деталей из сплошной древесины «на ус» заусовка концов должна производиться на длине, а восемь раз превышающей толщину материала. Однако для фанеры толщиной менее 10 мм по правилам Германского Ллойда длина усового соединения должна быть не менее 10 толщин листа (рис. 64).

На верфях для выполнения заусовки имеются простые устройства с упором и очень ровной подставкой, по которой движется высокооборотный механический рубанок. Они используются как для заусовки листов фанеры, так и для реек. Заусовку, однако, можно также просто выполнить с помощью острого ручного рубанка, причем для этого необходима абсолютно ровная деревянная плита с прямым упором.

При склейке «на ус» детали нужно точно стопорить по длине, чтобы они не сместились под давлением пресса. На выступающий с двух сторон на концах стыка клей накладывают полоски из оберточной бумаги, а при склеивании широких листов фанеры на стык накладывают и прижимают с помощью струбцин деревянные бруски. Благодаря этому можно создать достаточно равномерное давление запрессовки, которое должно составлять 0,4 Н/мм² (примерно 4 кгс/см²).

## 3.5. ОБШИВКА КОРПУСА И НАСТИЛ ПАЛУБЫ

Обшивка корпуса и настил палубы и их чистовая обработка являются специфическими судостроительными работами, которые обычно поручают выполнять первоклассным специалистам. Это высокое уважение к работе судостроителя сохранилось от старых времен, когда без прокладки по пазам обшивки хлопчатобумажных нитей или конопачения трудно было обеспечить необходимую плотность обшивки и палубы. Подобные методы постройки корпусов яхт так же ушли в прошлое, как деревянные нагели, которые благодаря набуханию древесины уплотняли тяжелые болтовые соединения киля или старое гвоздевое соединение палубы из тика. Современная постройка лодок и яхт благодаря использованию клеев так же упростилась, как и постройка судов из металла благодаря применению сварки вместо трудоемкой и дорогой клепки.



*Обшивка* круглоскулых яхт одним или двумя слоями пробельных досок применяется до сих пор. Например, в Скандинавии многие деревянные яхты строят по этому методу даже серийно и с применением клея (рис. 65). Обшивку можно начинать после того как предварительно изготовленные ламинированные шпангоуты прикреплены болтами к килю, выклеенному по шаблону, и шпангоуты выровнены на стапеле. Необходимо, чтобы малки, которые делались фрезой на шпангоутах, точно подходили под обшивку. В противном случае их надо доводить с помощью ручного рубанка.

Обшивку начинают обычно со шпунтового (килевого) пояса и ведут вверх по обоим бортам. В то время как при единичной постройке каждую доску обшивки снимают с деревянного шаблона, временно прикрепляемого к шпангоутам на гвоздях, при серийной постройке существуют уже готовые шаблоны, по которым вырезают доски обшивки с припусками по кромкам около 6—8 мм. После того как доска в зависимости от обводов судна обстругана и ей придана форма в поперечном сечении соответственно обводу шпангоутов (выполнено желобление), ее можно подгонять по месту. Если у форштевня есть шпунт и позже не будет закрывающего торцы досок

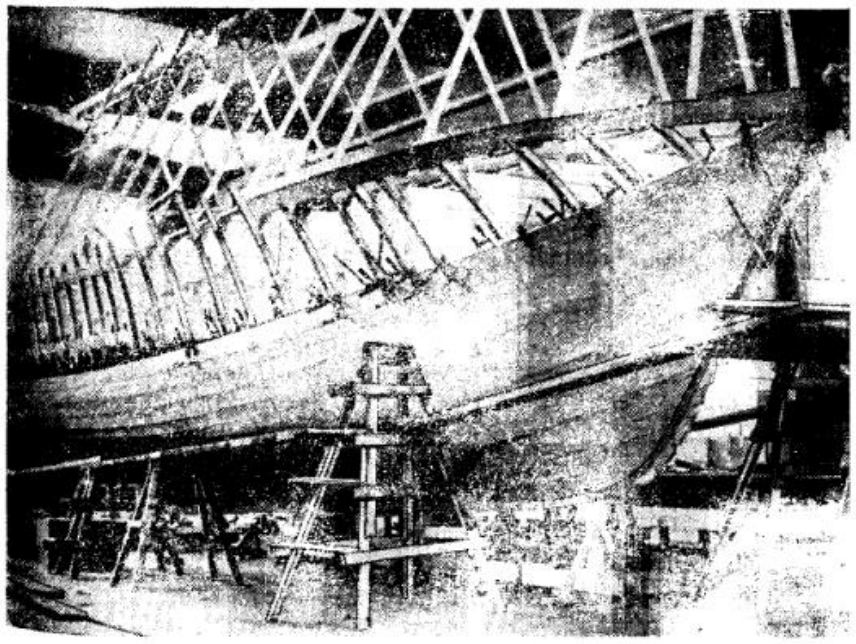


Рис. 65. Корпус моторной яхты «Адлер-V» с обшивкой из досок на стапеле.

водореза, то доску с помощью торцового рубанка подгоняю начисто к шпунту.

Доску прикрепляют струбцинами к шпангоутам примерн с одинаковым зазором в несколько миллиметров относитель кромки предыдущей доски. Затем с помощью специальног рейсмуса (рис. 66) проводят линию, параллельную чистово кромке предыдущей доски. Специальный рейсмус есть не что иное, как укороченный с одной стороны большой измерительны циркуль солидной конструкции, на короткой ножке которого припаянной оправе закреплен мягкий плотницкий карандаш Затем доску снимают и простругивают кромку точно по раз метке, для надежности ее еще раз или два примеряют по мест и подгоняют.

Этот длительный и трудоемкий процесс не соответствует больше духу времени. Вместо причерчивания и подгонки руч ным рубанком на современных верфях уже давно применяют специальные ручные электрофрезы, которые своим упором передвигаются вдоль чистовой кромки предыдущей доски и за один проход фрезеруют кромку устанавливаемой доски, при жатой к шпангоутам на некотором расстоянии от чистовой кромки. После этого доску нужно снять только еще раз для очистки прилегающих кромок обеих досок от пыли и опилок и для нанесения на них клея и затем окончательно прикрепить ее к шпангоутам. При этом смазывают клеем соответствующие поверхности шпангоутов и прилегающие к ним места на доске.

Чтобы между деталями не оставалось опилок, при сверлении отверстий под шурупы доска должна плотно прилегать к шпангоутам. Одновременно она должна быть плотно пригнана к лежащей под ней доске. Для этого необходимо большое количество струбцин (рис. 65). Крепление шурупами в этом случае обеспечивает прочность соединения и одновременно служит средством запрессовки при склеивании. Без крепления шурупами поверхности склеивания со шпангоутами были бы значительно бо́льшими и за восьмичасовой рабочий день можно было бы в лучшем случае поставить две доски на борт с учетом необходимого времени на выдержку их под давлением. Однако опытные судосборщики

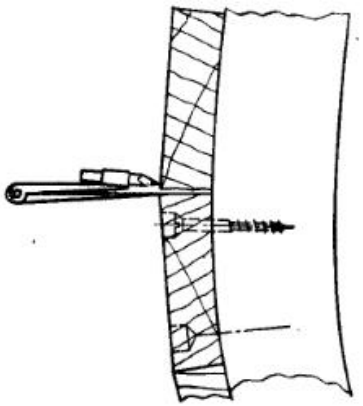


Рис. 66. Способ причерчивания досок обшивки с помощью рейсмуса. С наружной и внутренней сторон на верхней доске прочерчивают линии, отстоящие на одинаковый размер от кромки нижней доски. Затем кромку верхнего пояса состругивают до этих линий.



вдвоем ставят 5—6 досок в день, если они работают с фрезой. После завинчивания шурупов можно снять все струбцины и подгонять следующую рейку. В дальнейшем будет показано, что рассмотренный метод обшивки можно рационализировать в еще большей степени.

Наибольшее распространение на яхтах получил *настил палубы* из тиковых брусков. На яхтах из металла и пластмасс за малым исключением также делают настил палубы из тика, если его не выполняют из того же материала, что и корпус.

С тех пор как конопачение и заливка специальным корабельным клеем или пеком уступили место хотя и дорогостоящему, но надежному клею на основе резины или силикона, почти не существует технических трудностей в обеспечении плотности и долговечности палубы из брусков. Она обладает также хорошей стойкостью к воде и тепловой изоляцией.

В отличие от прежних конструкций настила, бруски которого крепились потайными гвоздями, тиковые бруски почти всегда наклеивают на один слой прочной морской фанеры. Она не только воспринимает все силы сжатия, но и дает при чистом склеивании удвоенную гарантию против возникновения течи, если уплотнение швов смоляным клеем будет повреждено.

На рис. 67 показана принципиальная конструкция современного легкого покрытия палубы тиковыми брусками. При расстоянии между бимсами 300—400 мм и соответствующей погиби эта конструкция достаточно прочная. Для 12-метровой яхты настил не должен быть толще, а для 7-метровой яхты его нельзя делать тоньше. Нагрузки в палубе больших яхт можно компенсировать за счет более часто расположенных и более прочных палубных бимсов и стрингеров. Благодаря легкой конструкции палубы удается понизить положение центра тяжести, что важно для обеспечения остойчивости больших яхт.

Изготовление настила начинают с наклеивания морской фанеры на стрингеры, карлингсы и палубные бимсы. Это можно делать с помощью струбцин или крепления шурупами. Стыки фанеры могут выполняться на бимсах и на продольных подкладываемых под стык планках. Поверхности склеивания фанеры с

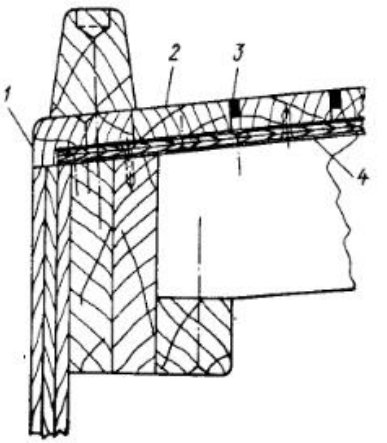



Рис. 67. Типовая конструкция настила палубы из фанеры, поверх которой наклеены планки из тика (расстояние между палубными бимсами 300—400 мм).
*1*—затервейс 40×18, тик; *2*—планка 40×12, тик; *3*—паз, заполненный резиновым клеем, 8×4; *4*—фанера, δ=6.

палубными бимсами должны иметь достаточную площадь, по
скольку не предусмотрено никаких креплений шурупами меж
подпалубными связями и фанерой. Соответственно требуется
очень тщательное склеивание фанеры с бимсами, стрингерам
и планками по стыкам.

Когда палубный набор полностью покрыт фанерой, нач
нают настилать поверх него тиковые рейки. На большинстве
яхт длиной более 10 м ватервейс — крайнюю к борту доск
настила — выпиливают из широких досок по шаблонам с ус
выми клееными соединениями по длине. Более рациональ
изогнуть две узкие рейки по борту и склеить их друг с дру
гом. Если внутренняя кромка деревянного фальшборта захо
дит немного на паз, то получается впечатление более широкой
верхней палубы (см. рис. 67).

Все последующие палубные рейки, подготовленные для
уплотнения по пазам с помощью смоляного клея, наклеивают
на фанерный настил друг за другом, в направлении от борта
к ДП. Давление запрессовки создают, где можно, струбцинами
(рис. 68). Можно также применять подпорки, которые ставят
между верхними брусьями стапеля, или использовать тяжести,
укладываемые на настил (давление должно быть только та

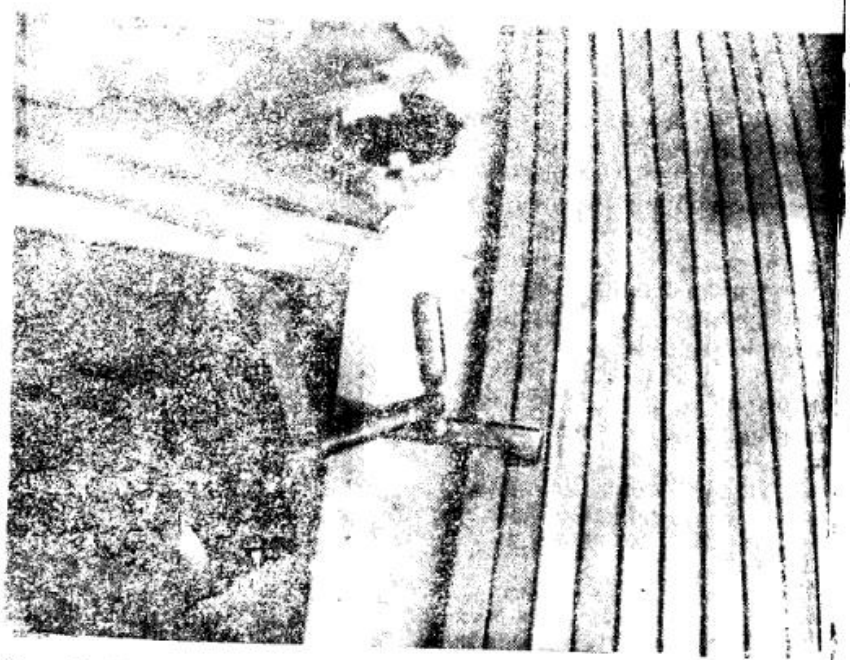


Рис. 68. Давление для склеивания тиковых планок, где это возможно, со
здают с помощью струбцин.



ы, чтобы обе намазанные клеем поверхности плотно прилегали друг к другу). Важно, чтобы в фанерном настиле не было вмятин. При правильной установке и подгонке бимсов их быть не должно. Если фанера в пролете между бимсами не соприкасается с рейками, то надо предусмотреть снизу крепление на шурупах размером $3 \times 12$ мм, которые ставят через 150—200 мм, как это показано на рис. 67. Отверстия под шурупы можно разметить перед настилом реек на фанеру и просверлить их сверху (с палубы). Для таких маленьких шурупов рейку из тика досверливать снизу не нужно — достаточно слегка надавить шилом (иглой рейсмуса) перед завинчиванием, чтобы острие шурупа захватило древесину.

Описанный метод настила палубы из брусков тика не является единственно возможным. Наряду с ним существует способ обычного крепления реек к бимсам шурупами с утопленной в рейки настила головкой и последующей заделкой большого количества отверстий под шурупы пробками. Такой метод дорогостоящий и, кроме того, пробки могут стать источниками течи.

Независимо от видов крепления тикового настила существуют различия в расположении реек. В то время как на парусных яхтах рейки почти всегда укладывают параллельно линии борта, а их концы врезают в мидельвейс в диаметральной плоскости яхты, на небольших и средних моторно-парусных яхтах рейки часто кладут параллельно ДП, т. е. прямо, без изгиба. Это рационально в том случае, если стенки рубок также прямые и параллельные ДП. Такое условие редко можно выполнить у больших моторно-парусных яхт, поэтому чаще всего идут на компромисс. Рейки настила кладут в продолжение стенок рубки в нос и в корму, а их концы врезают как в ватервейс, так и на мидельвейсе в ДП.

Другой вопрос заключается в том, как оформить концы палубных реек: острыми или тупыми. С точки зрения технологии тупые концы сейчас не являются необходимыми. Они применялись при использовании гвоздей и конопатки, поскольку острые концы при конопачении нередко ломались. Следовательно, речь идет только об эстетическом восприятии. После настила реек палубу основательно обрабатывают, особенно по пазам, пылесосом. Затем швы смазывают специальным составом для резинового клея, что необходимо для безупречного сцепления клея с древесиной.

Резиновый клей предлагается обычно двух видов: на основе резины, состоящий из двух компонентов (например, формафлекс), и на основе силикона как однокомпонентное вещество (WKT). Однокомпонентный клей мягче и экономнее в употреблении (наносится из тюбика). Но поскольку он плохо шлифуется, то швы надо заполнять им на 1 мм ниже кромки настила палубы. Недостатком этого клея является также

образование пузырьков в лаке вблизи пазов, когда им покрывают палубный настил.

Двухкомпонентная искусственная резина — более старый материал. Его надо тщательно перемешивать и наносить распылителем. Излишки (подтеки) нужно снимать острой стамеской прежде чем шлифовать палубу.

При тщательном выполнении работ оба вида клея достаточно надежны. Двухкомпонентный немного дешевле и поэтому его применяют чаще.

*Отделка* наружной обшивки яхты требует наряду с затратами физических усилий (приходится строгать и шлифовать места, частично расположенные над головой) много прилежания и терпения. Именно эти трудоемкие работы и последний этап — лакировка поверхности обшивки — повышают стоимость яхты.

Отделка корпуса яхты — чистая ручная работа, и ее можно выполнять только в том случае хорошо, если отделочный рубанок и цикли всегда держать заточенными остро как бритва.

После предварительной грубой строжки выступающих кромок реек, которые закругляют обычным рубанком, начинают работать отделочным рубанком с круто расположенным резцом. Благодаря более тупому углу установки резца стружка в нем разламывается чаще и снимается чрезвычайно тонкий ее слой, что позволяет получить гладкую поверхность. Однако при строжке выпуклой поверхности обшивки нельзя избежать появления узких плоских фасетообразных полос. Любитель едва бы их заметил, но судостроитель хорошо чувствует их ладонью при поглаживании поверхности обшивки. Если обшивку в таком состоянии зачистить шкуркой, то эти легкие выступы становятся заметными только после лакирования. Так как лакированную обшивку шпаклевать нельзя, этот недостаток остается надолго. Поэтому хороший строитель перед шлифованием должен сгладить все небольшие неровности циклей.

Циклю изготовляют обычно из рессорной стали в виде гибкой полосы длиной 10—20 см, на которой имеется остро заточенная и закаленная продольная кромка. Циклю прижимают двумя руками к наружной обшивке и ведут вдоль волокон древесины. Снимая тончайшую стружку, постепенно выравнивают фасетообразные полоски, оставленные рубанком на наружной обшивке. После этого поверхность обшивки предварительно шлифуют вдоль волокон средней шкуркой, которую кладут на кусок пробки размером около 12 × 8 × 4 см. Доводку художник при поглаживании лакированных поверхностей шлифовку мелкой шкуркой выполняют рукой, как это делает также в направлении волокон.

Описанный метод отделки относится к постройке яхт высокого качества, дорогостоящих. Снизить стоимость отделки позволяет применение ручных высокооборотных ленточно-шлифовальных электрических машин, качество обработки поверхностей которыми нельзя, конечно, сравнить с качеством, полученным в результате ручной обработки.



## 3.6. ПОСТРОЙКА СУДНА С ПОПЕРЕЧНЫМ НАБОРОМ

Конструкция деревянного судна с поперечным набором является самой старой после долбленых челнов и каноэ с обшивкой из коры. Доски наружной обшивки обеспечивают водонепроницаемость и продольную прочность корпуса, а шпангоуты как поперечные связи придают форму корпусу и позволяют конструкции стать судном. Несмотря на то что в последние годы благодаря применению клеев появились более рациональные конструкции корпусов деревянных яхт, и сегодня многие яхты средних размеров продолжают строить с поперечным набором. Европейские судостроители доказали, что этот старый метод постройки можно развивать и дальше. В противоположность ФРГ, где с немецкой обстоятельностью во времена повышенного интереса к стеклопластику все другие оправдывавшие себя строительные материалы были положены под сукно, в других странах продолжалось серийное строительство сотен высококачественных деревянных яхт длиной 10—20 м. К слову сказать, у обычных яхт из пластмасс мало шансов успешно конкурировать по таким показателям, как отношение массы корпуса к длине по КВЛ и сроку службы с современными яхтами, построенными из дерева. Окончательная стоимость деревянной яхты, главным образом вследствие большого объема ручных работ, оказывается выше (примерно на 20%), чем стоимость постройки такой же яхты из пластмасс. Однако сегодня это признается специалистами оправданным.

### 3.6.1. Постройка яхт из древесных пиломатериалов

Классические методы постройки яхт с поперечным набором в виде натесных и гнутых шпангоутов, досками обшивки, заделыванием головок шурупов и гвоздей пробками на цинковых белилах и конопачением пазов обшивки практически не применяются.

Современные методы постройки основаны на широком использовании клеев и ламинированных шпангоутов; детали из сплошной древесины изготовляют в случае, когда это технически оправдано и рационально по стоимости и трудоемкости постройки: для килей, стрингеров, досок наружной обшивки и флортимберсов.

После того как шпангоуты, а иногда и палубные бимсы склеены из реек и с них сняты малки, их собирают в рамки на болтах, накладывая на плаз проекции «корпус» теоретического

чертежа, вместе с заранее нарезанными флорами и палубными кницами. Киль и форштевень изготовляют параллельно со шпангоутами. В зависимости от качества имеющейся древесины эти детали либо составляют из частей сплошной древесины, либо склеивают из реек по соответствующим шаблонам-цулагам. Ламинированные кили или штевни нередко укрепляют рейкой из высокопрочной фанеры для улучшения поперечной по отношению к волокнам древесины прочности. С этой же целью детали, составленные из отдельных сплошных частей, дополнительно крепят болтами и шурупами.

Собранные шпангоуты устанавливают на киль, расположенный на стапеле, выравнивают их по верхнему стапельному брусу и укрепляют в поперечном направлении. После того как шпангоуты выровнены с помощью вспомогательных реек также и в продольном направлении и закреплены предусмотренными конструкцией продольными связями, можно начинать обшивку. Обшивка корпуса яхты досками на стапеле показана на рис. 65.

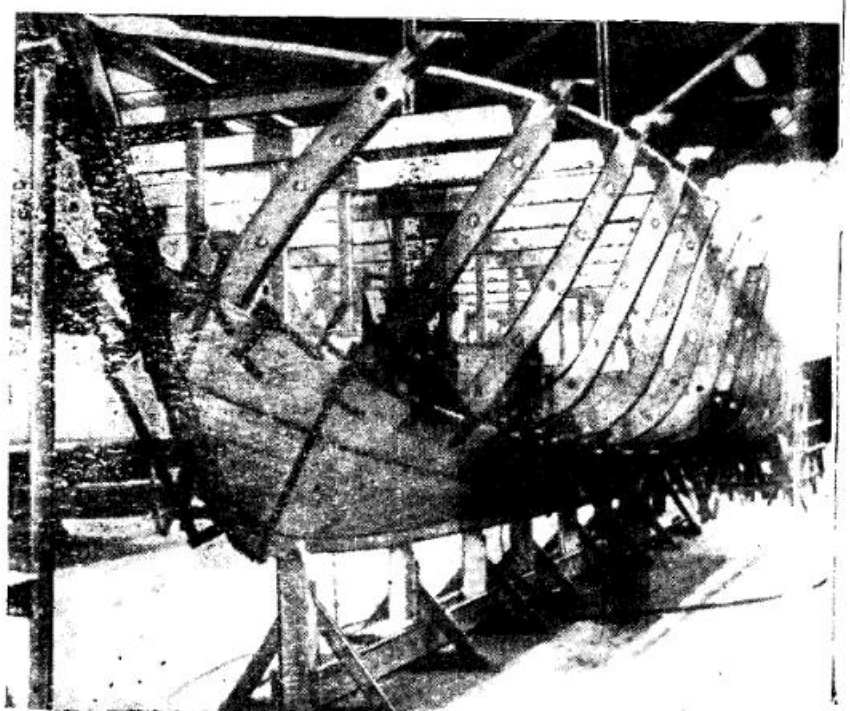


Рис. 69. При обшивке корпуса по поперечным шаблонам отдельные планки склеивают по пазам. К килю и форштевню планки крепят на шурупах.



Прямой противоположностью описанному методу постройки на основе заранее собранных шпангоутов является изготовление обшивки корпуса путем склеивания по кромкам узких реек на остове судна, собранном из шаблонов шпангоутов (рис. 69). На рис. 70 показан обшитый корпус с вклепанными дополнительно ламинированными шпангоутами, над которыми поднят его остов. Склеивание кромок реек придает корпусу такую прочность, что остов можно вынуть и форма корпуса тем не менее не изменится. Перед извлечением построечного остова в корпус ставят носовой палубный стрингер.

Оба метода постройки на заранее изготовленных шпангоутах и лекалах-шаблонах применяет одна и та же шведская верфь. Очевидно, оба метода эффективны.

После того как в корпусе смонтированы шпангоуты и продольные связи, устанавливают на место заранее сделанные бимсы, кормовую часть палубного стрингера, а также все предусмотренные проектом детали набора. К привальному брусу бимсы крепят путем косой врезки и шурупами. Роль прочной связи выполняет нижний слой палубного настила, изготовляемой из фанеры. Для фиксации коротких боковых полубимсов служат поперечные траверсы.

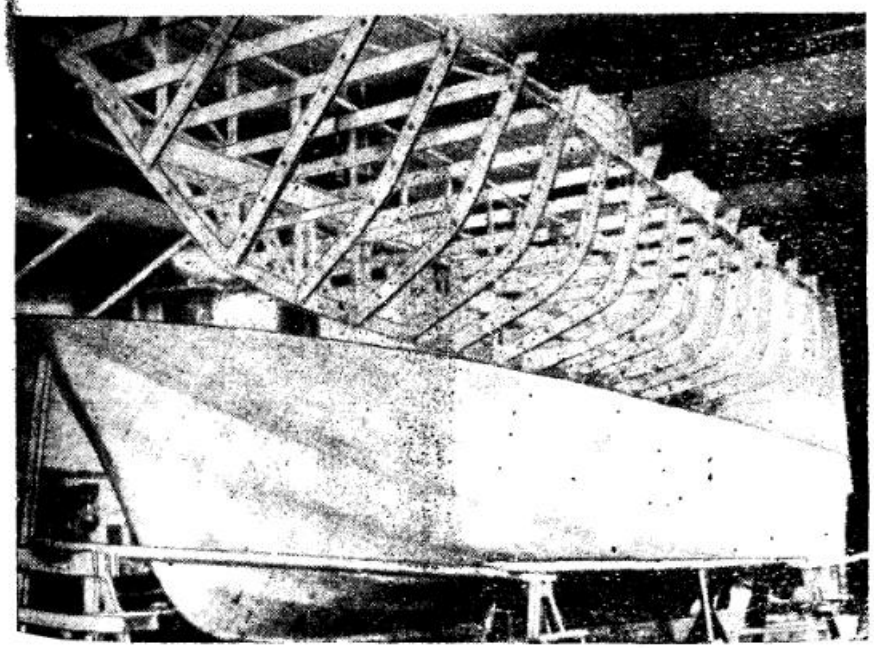


Рис. 70. Остов-шаблон освобожден от склеенной оболочки корпуса.

После настила палубы монтируют заготовленные попер ные переборки и детали надстройки. Каждую отдельную таль, изготовленную заранее по шаблонам, раскрепляют корпусе с помощью деревянных поперечных реек и брус для фиксации и контроля их положения. Не секрет, что ин видуальная постройка яхты в единственном экземпляре по кой технологии может занять вдвое больше времени без су ственного улучшения качества. Это объясняется тем, что постройке одного судна еще окончательно не отработана к струкция корпуса и нет четкой систематизации трудов процесса.

Уже при постройке второго судна рабочий знает зара ее последовательность работы. При изготовлении дальней ... судов серии рабочий, если он честолюбив и рассчитывает на денежное вознаграждение за вносимые им усовершенствова ия, будет подавать свои предложения по улучшению проек та. Даже при небольших конструктивных изменениях можно достичь значительных выгод в производственном процессе.

Для успешной постройки деревянных яхт наряду с дальнейшим совершенствованием конструкции есть значительные резервы в организации процесса труда, например, применение поточно-позиционного метода, когда корпуса яхт перемещаются на тележках через один и тот же сборочный цех, в котором монтируют ритмично корпус и надстройки. К сожалению, на многих верфях часто забывают о прогрессивных методах, которыми обогатилась технология постройки яхт.

### 3.6.2. Постройка яхт из фанеры и пиломатериалов

Комбинированная конструкция корпуса довольно часто применяется в европейском серийном производстве моторно-парусных яхт. Особенной известностью пользуется североитальянская верфь «Багильетто», на которой строятся быстроходные и легкие моторные яхты. Благодаря систематизированной технологии, которая будет описана ниже, здесь организовано рациональное производство яхт при приемлемых затратах и рыночных ценах. Только этим можно объяснить тот факт, что верфь несмотря на всемирную конкуренцию в течение 60-х и 70-х годов построила и продала сотни яхт длиной 14—22 м и при этом имела мало рекламаций. Такой успех в последнюю очередь нужно отнести за счет выбранного строительного материала — древесины, которая нечувствительна к колебаниям конъюнктуры.

Как показывает наглядно типовое сечение мидель-шпангоута корпуса комбинированной конструкции с деревянным набором (рис. 71), днищевая часть обшивки с изгибом в носовой части склеена из двух слоев деревянных планок по поперечным шпангоутам. На моторной яхте длиной 18 м, развивающей скорость 26 уз, днище имеет толщину всего 21 мм и состоит из диагонального внутреннего слоя — набора 9-миллиметровых планок древесины кайя и наружного слоя — из таких же 12-миллиметровых планок, уложенных вдоль судна. При расстоянии между шпангоутами около 500 мм между ними устанавливают дополнительные днищевые шпангоуты для передачи на продольные связи сильных ударов, возникающих при ходе на волнении. Борта катера, подвергающиеся много меньшим нагрузкам, обшивают морской фанерой толщиной 17 мм, которую нарезают полосами шириной около 400 мм, приклеивают к пазовым рейкам и затем привинчивают шурупами. Между двумя пазовыми рейками шириной 60 мм ставят дополнительную рейку для обеспечения местной жесткости.

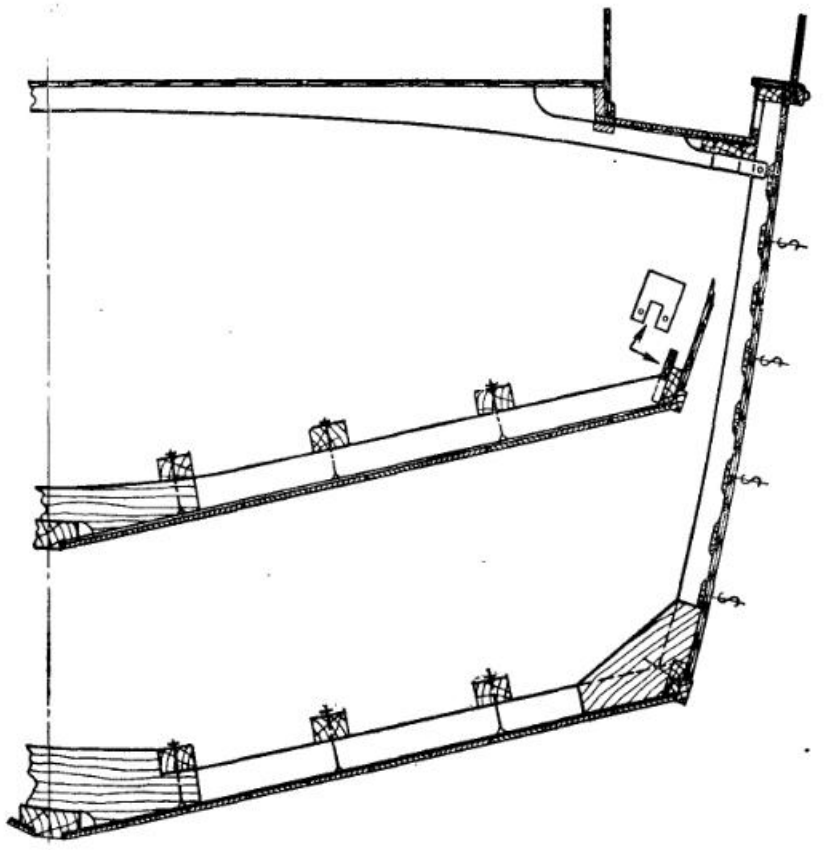


Рис. 71. Конструктивный «мидель-шпангоут» моторной яхты с комбинированной обшивкой из фанеры (борт) и планок, применяемый на верфи «Багильетто».

Поперечный набор у этого корпуса заготовляют из отдельных деталей, которые фрезеруют по шаблонам и затем с помощью соответствующих накладок собирают в шпангоутные рамы. Поперечные переборки склеивают из двух слоев фанеры и также фрезеруют по контуру по шаблонам.

Киль, форштевень и стрингеры при постройке по методу верфи «Багильетто» склеивают из отдельных частей массивной древесины с соответствующими косыми накладками. Пока существует качественно выдержанная древесина, нельзя ничего сказать против ее применения. Ламинирование отдельных деталей обошлось бы значительно дороже. Стапель для постройки моторной яхты по этому методу состоит из трех продольных балок. На среднюю кладут киль, а боковые служат опорами для шпангоутов. После того как рамы шпангоутов поставлены на стапель, на них кладут изготовленные заранее днищевые стрингеры. Затем устанавливают поперечные переборки, в которых уже сделаны вырезы для днищевых стрингеров. Далее днищевые стрингеры крепят болтами или шурупами к шпангоутам и переборкам, монтируют палубные стрингеры, карленгсы, подкрепления для лебедок и палубных деталей. Параллельно с установкой палубных стрингеров обшивают борта корпуса; днище из-за конструкции стапеля, состоящего из трех балок, остается все еще открытым. В любом случае обшивка бортов корпуса заканчивается после монтажа настила палубы.

Эффект этого метода серийной постройки состоит в том, что по завершении обшивки бортов стапель освобождается и корпус без днищевой обшивки передвигают на расположенный сзади достроечный стапель. Благодаря этой системе можно так размещать одновременно работающих над яхтой людей, что они не мешают друг другу.

На достроечном стапеле на готовую палубу устанавливают заранее заготовленную надстройку. Одновременно другая бригада обшивает днище диагональным внутренним слоем досок и продольным наружным слоем. Доски подгоняют друг к другу с помощью специальных ручных фрез и склеивают с помощью зажимных устройств, работающих на сжатом воздухе. Бригада наверху устанавливает заранее заготовленный фальшборт и собирает надстройку. Как только днище готово, изолируют машинный отсек и монтируют оборудование жилых помещений. Параллельно маляры производят окраску наружной обшивки и надстройки.

По окончании изолировочных работ в машинном отсеке устанавливают главные двигатели и вспомогательные агрегаты, монтируют системы, обслуживающие их. Одновременно ставят на место иллюминаторы в наружной обшивке и надстройке, монтируют палубные устройства, ведут малярные работы снаружи корпуса. Благодаря такому ритмичному методу



средняя судоверфь может каждые 4—5 недель выпускать на ходовые испытания моторную яхту длиной 20 м. Высокая производительность достигается благодаря систематизированному технологическому процессу и хорошему планированию.

### 3.6.3. Яхты с остроскулыми обводвми из фанеры

Яхты с остроскулыми обводами были популярны в 50-е и 60-е годы. С увеличением ширины яхт конструктивные недостатки принятых тогда V-образных шпангоутов с одной скулой проявлялись все отчетливее и это вместе с быстрорастущими ценами на морскую фанеру стало причиной исчезновения остроскулых судов из числа морских яхт. Фанеру применяли преимущественно для постройки небольших швертботов.

С появлением яхт с двойной скулой, которые показали даже более высокие мореходные качества, чем круглоскулые суда, постройка яхт с фанерной обшивкой стала вновь актуальной. За возможность строить относительно легкие яхты, которые удобно транспортировать на трейлере, ухватились главным образом любители-судостроители. Проект яхты-компромисса типа «Гамммлер» длиной 7,0 м, разработанной специально для постройки любителями, послужил основой для многих подобных яхт (рис. 72).

При постройке яхт с остроскулыми обводами рамки каждого шпангоута собирают из реек, пользуясь проекцией «корпус» на плазе. Когда все шпангоуты готовы, их устанавливают на простой стапель в положение килем вверх и врезают в них стрингеры и привальные брусья, чаще всего все одинакового поперечного сечения. Корпус обшивают листами фанеры, которые наклеивают на шпангоуты и стрингеры, причем для запрессовки используют шурупы. Листы фанеры склеивают предварительно «на ус» до необходимой длины.

Настил палубы бака и кокпит монтируют обычным способом после того как установлен швертовый колодец, сваренный из стальных листов. Хотя такая конструкция яхты с двойной скулой и обшивкой из фанеры имеет благоприятное соотношение водоизмещения к длине, что ценно не только для получения хорошей скорости, но и для транспортировки на трейлере, этот метод постройки все меньше привлекает внимание из-за высокой цены на морскую фанеру. Для любителей имеется возможность достраивать яхты, используя готовые формованные на клею корпуса из шпона красного дерева.

## 3.7. ПОСТРОЙКА СУДНА С ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ НАБОРА

Конструкция корпуса судна с продольной системой набора в яхтостроении является сравнительно новой. Набор состоит из жестких натесных шпангоутов, на которых система

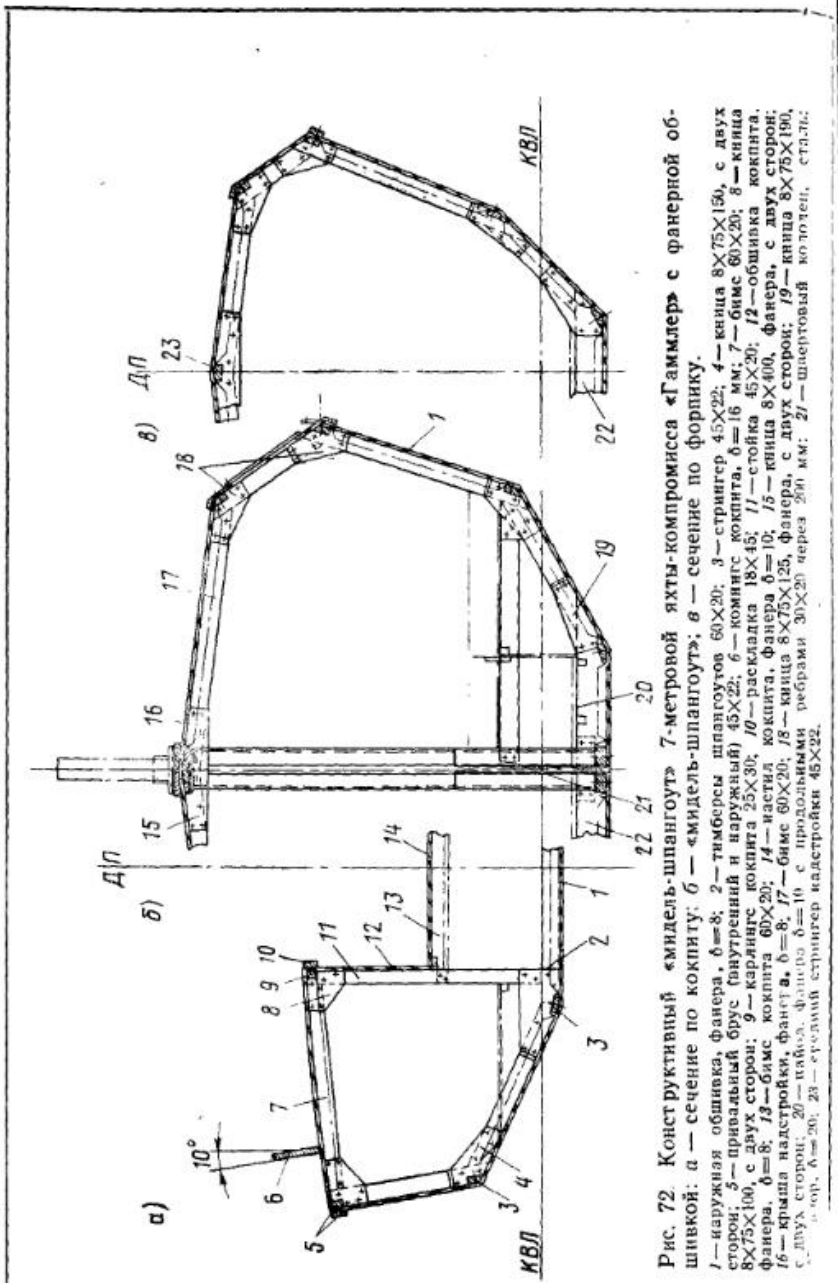



Рис. 72. Конструктивный «мидель-шпангоут» 7-метровой яхты-компромисса «Гаммлер» с фанерной обшивкой: *а* — сечение по кокпиту; *б* — «мидель-шпангоут»; *в* — сечение по форпику.

*1* — наружная обшивка, фанера, δ=8; *2* — тимберсы шпангоутов 60×20; *3* — стрингер 45×22; *4* — кница 8×75×150, с двух сторон; *5* — привальный брус (внутренний и наружный) 45×22; *6* — комингс кокпита, δ=16 мм; *7* — бимс 60×20; *8* — кница 8×75×100, с двух сторон; *9* — карлингс кокпита 25×30; *10* — раскладка 18×45; *11* — стойка 45×20; *12* — обшивка кокпита, фанера, δ=8; *13* — бимс кокпита 60×20; *14* — настил кокпита, фанера δ=10; *15* — кница 8×400, фанера, с двух сторон; *16* — крыша надстройки, фанера, δ=8; *17* — бимс 60×20; *18* — кница 8×75×125, фанера, с двух сторон; *19* — кница 8×75×190, с двух сторон; *20* — пайол, фанера δ=10 с продольными ребрами 30×20 через 200 мм; *21* — шпертовый кнехт, сталь; *22* — кор, δ=20; *23* — средний стрингер надстройки 45×22.

продольных связей (стрингеров) образует основание для крепления наружной обшивки. На этот каркас можно наклеивать продольные полосы из фанеры или диагональную клееную обшивку из досок — в обоих случаях получается легкая, прочная и долговечная наружная обшивка. Стрингеры в сочетании с обшивкой параллельно-диагональными полосами фанеры являются основой метода постройки «Лизолетта», впервые примененного Эрнстом Лехфельдом.

Метод постройки судна на продольной системе набора оправдал себя как в серийном производстве, так и при относительно недорогой индивидуальной постройке, поскольку изготовление натесных шпангоутов не требует больших затрат. Этим методом в сочетании с применением диагонального способа обшивки взыскательный любитель может построить легкую яхту с благоприятным соотношением массы к длине по КВЛ и длительным сроком службы.

### 3.7.1. Клинкерная обшивка из фанеры

Традиционный метод постройки малых судов с обшивкой (кромка на кромку), или «клинкер», в наши дни включает и метод постройки «Вааршип», разработанный в Голландии. В отличие от обшивки «клинкер» из досок, применявшейся в прошлом, при этом методе каждый пояс фанеры накладывают на стрингеры, склеивают с ними и крепят шурупами. Получается плотный и прочный корпус, который подкрепляют изнутри еще несколькими кницами, переборками и днищевыми флорами. С выступающими кромками — пазами смежных поясьев приходится мириться ради прочности и надежности конструкции. Несмотря на это многие лодки типа «Вааршип» выигрывают гонки — это доказывает, что большинство из выступающих пазов ориентированы по направлению потока воды.

Яхты типа «Вааршип» длиной 6—8,7 м строят по следующему систематизированному методу. На серийный стапель, состоящий из нормальных натесных шпангоутов и козел с креплениями для заранее сделанных днищевых флоров, бортовых книц и отдельных переборок, укладывают плоский деревянный киль с клееным ламинированным форштевнем, стрингеры в предусмотренные для них вырезы в шпангоутах и другие детали, находящиеся в корпусе, и крепят их шурупами (рис. 73). Форштевень не имеет шпунта — концы листов фанеры, выступающие перед форштевнем, отпиливают, торцуют и по завершении обшивки закрывают наружным штевнем.

Корпус яхты обшивают заранее отфрезерованными из фанеры по шаблонам поясьями, первый из которых приклеивают к малкованному килю. Каждый последующий пояс склеивают с малкованной кромкой предыдущего пояса. Дополнительно

кромки крепят шурупами. Свободный край кромки наклеивают на пазовую рейку.

На рис. 74 изображен этот процесс, требующий большого числа струбцин. Перед склеиванием и креплением шурупами каждой полосы с кромки предыдущей полосы и со следующей за ней пазовой рейки снимают соответствующие малки. Это делают с помощью механизированного ручного рубанка, длинное основание которого перекрывает по диагонали расстояние между кромкой полосы и пазовой рейкой.

По завершении обшивки корпуса к ее верхнему поясу приклеивают снаружи рейки привальных брусьев, вставляют две поперечные распорки для создания достаточной жесткости и корпус снимают со стапеля. Затем монтируют палубные бимсы, палубу и рубку. В это время корпус удерживается в равновесии на полу с помощью нескольких подпорок.

Для любителя, желающего построить корпус таким методом, в Голландии, например, поставляются заготовленные детали (уже смалкованные фанерные листы обшивки, настил палубы, бимсы и переборки). Это дает большую экономию

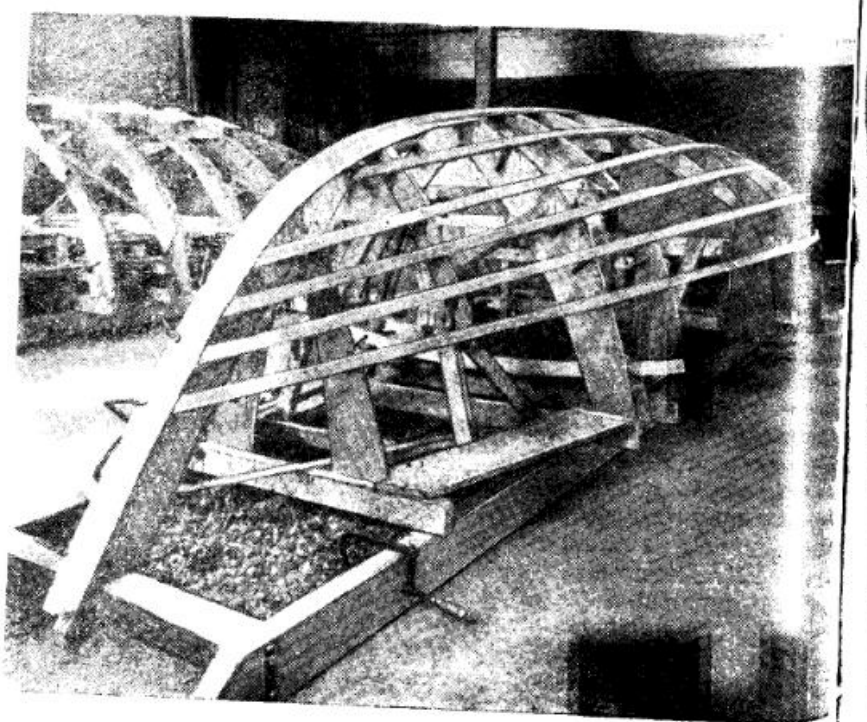


Рис. 73. Сборка корпуса с продольной системой набора.



труда. Однако полностью законченный корпус, продаваемый верфью для самостоятельной достройки, несмотря на все стремления к рационализации технологии, стоит довольно дорого. По сравнению с самостоятельно построенной яхтой такой вариант оказывается ненамного дешевле. То что строители «Вааршипов», несмотря на это, продают сотни готовых корпусов, говорит о хорошо продуманной технологии постройки.

### 3.7.2. Постройка корпуса с диагональной обшивкой

Постройка корпусов яхт с диагональной обшивкой с применением формовки на клею — самый современный и рациональный метод постройки деревянных яхт. Корпуса получаются легкими, высокопрочными и долговечными.

При этом методе постройки, пригодном для профессионального судостроения, поверх деревянных шаблонов укладывают продольные рейки стрингеров, которые образуют основание для планок обшивки. Планки, вырезанные из морской фанеры и сплошной древесины, приклеенные по диагонали к стрингерам в три слоя, составляют прочную и жесткую оболочку корпуса (рис. 75). Лекала-шпангоуты, собранные на гвоздях из хорошо высушенной на воздухе древесины ели или других незначительно деформирующихся при изменении влажности пород, служат исходной оснасткой для постройки. Их собирают из имеющихся в наличии досок по вычерченным на плазе контурам

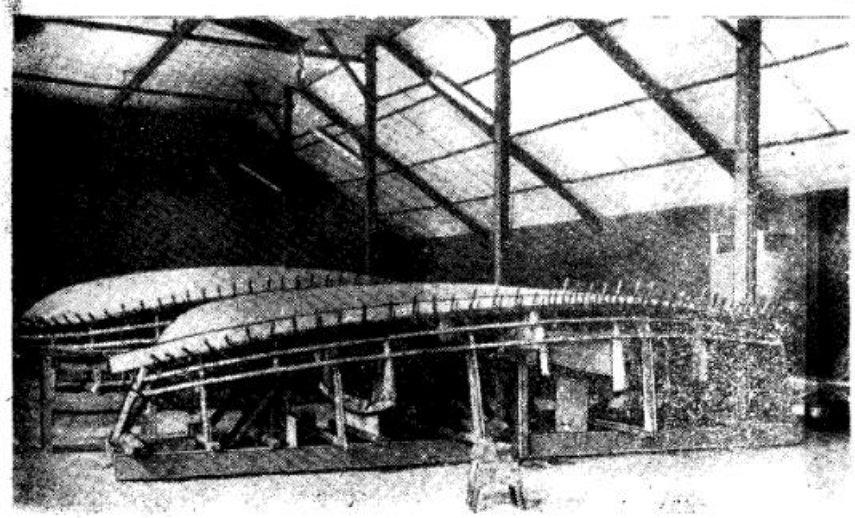


Рис. 74. Установка на корпус предварительно отфрезерованного пояса обшивки из фанеры.

теоретических шпангоутов. Если лекала должны служить для постройки более чем одного-двух корпусов, рекомендуется для соединения их частей использовать наряду с гвоздями и клей. При изготовлении лекал от обводов теоретических шпангоутов надо вычесть толщину наружной обшивки и толщину стрингеров.

Лекала кроме накладок в местах стыков надо обеспечить необходимыми креплениями для установки на стапеле в положении килем вверх (рис. 76).

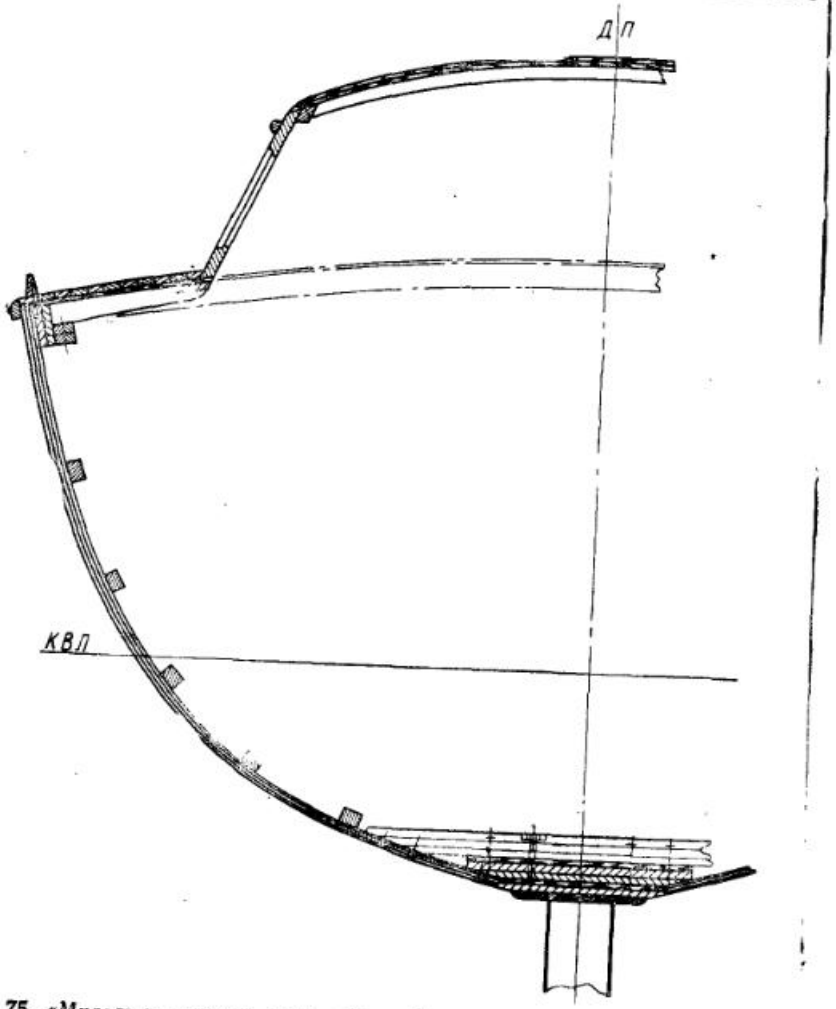



Рис. 75. «Мидель-шпангоут» яхты «Дести-С» длиной 9,20 м с наружной обшивкой из трех слоев судостроительной фанеры толщиной по 5 мм.



Стапель может состоять из двух солидных хорошо высушенных балок из ели, которые располагаются параллельно и в зависимости от размеров судна отстоят друг от друга на 1—2 м. В строительном помещении без пола можно врыть в землю столбы и на них укрепить балки стапеля. Если имеется надежное основание — пол, надо предусмотреть надежное закрепление этих балок.

Установка лекал шпангоутов на стапеле производится согласно предварительной разметке их положения по струне, натянутой вдоль ДП, строго перпендикулярно к ДП и на точных расстояниях один от другого. Линия ДП, прочерченная на лекалах, позволяет устанавливать по натянутой струне шпангоут за шпангоутом на стапель и закреплять их соответствующими брусками и гвоздями.

С помощью отвеса и уровня лекала выравнивают по вертикали и горизонтали. Первым устанавливают строго верти-

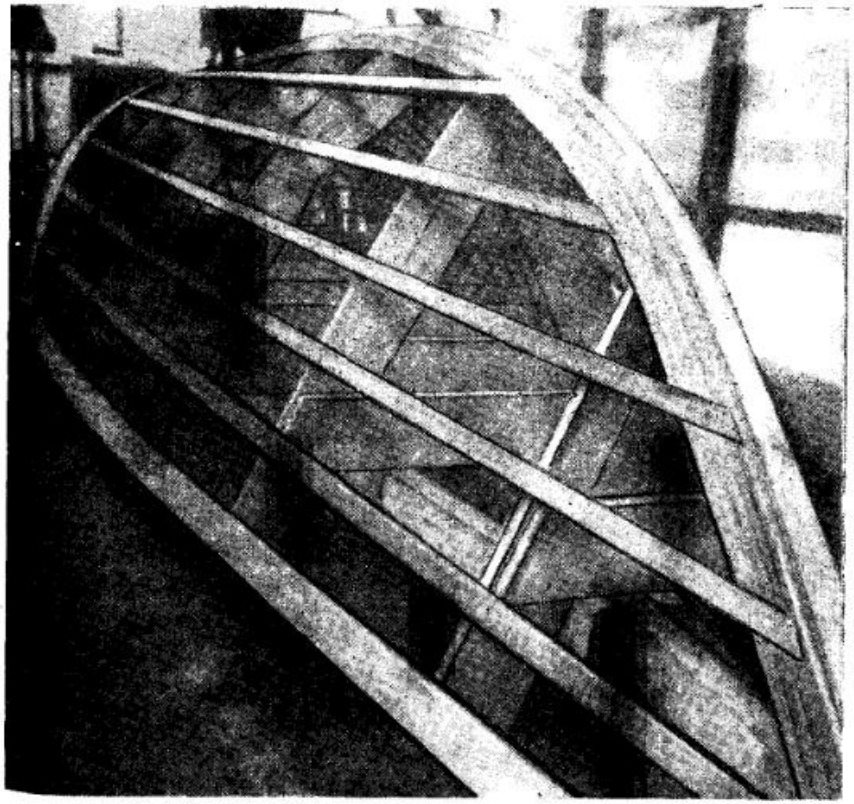


Рис. 76. Стапель-кондуктор для постройки корпуса с диагональной обшивкой.

кально лекало среднего шпангоута и диагональными распорками раскрепляют его к балкам стапеля. Все другие шпангоуты можно удерживать на расстоянии с помощью вспомогательной рейки, прибиваемой к обоим бортам лекала после его выравнивания.

Если с помощью такой оснастки предполагают строить и другие корпуса, целесообразно сделать подпорки под каждый шпангоут диагонально к стапелю. Надо, однако, оставить столько места, чтобы можно было позже для снятия корпуса освободить снизу шурупы, соединяющие стрингеры с лекалами шпангоутов.

Киль и штевни изготовляют обычно ламинированной конструкции. Например, для яхты длиной 9,20 м киль является одной деталью, склеенной из прямых реек толщиной 20 мм с промежуточным слоем из фанеры. Только кормовой футокс (ахтерштевень) и форштевень склеивают, изгибая рейки на простых шаблонах, размеры которых снимают с теоретического чертежа. Первыми устанавливают на стапеле кормовой футокс и форштевень в соответствующие вырезы в лекалах и брусками или короткими угольниками крепят на месте. После этого склеивают заготовленную заранее балку киля с форштевнем и кормовым футоксом.

Продольные связи и палубные стрингеры укрепляют на шпангоутах с помощью брусков и коротких угольников изнутри так, чтобы после изготовления корпуса их можно было легко снять. К форштевню продольные связи и привальные брусья крепят на врезке, на клею и на шурупах. Если имеется транец, его изготовляют сразу и устанавливают на стапель так, чтобы продольные связи и палубные стрингеры можно было закрепить и на транце.

При продуманном конструировании продольные связи рассчитывают в сечении так, что их можно гнуть без большого давления по лекалам. Только палубные стрингеры (привальные брусья) вследствие значительной ширины чаще всего склеивают из двух или трех реек по толщине.

Обшивку можно начинать после обработки продольных связей под малку. Хотя теоретически такой обработки не требуется, но из-за возможного скручивания реек продольных связей это нередко делать необходимо.

Диагональная обшивка бывает двух видов. В первом случае полосы, вырезанные из морской фанеры, наклеивают в три слоя в одном и том же диагональном направлении, сдвигая каждый раз на половину их ширины. Во втором случае используют три слоя полос, нарезанных из сплошной древесины, которые накладывают перекрестно-диагонально (перпендикулярно друг к другу) и склеивают. Обшивку такого типа применяют чаще всего для яхт длиной более 10 м, поскольку при этом способе достигается экономия материала. Наружный



слой обшивки в большинстве случаев выполняют в виде продольных полос для придания видимости традиционной обшивки из досок. Целесообразность применения досок из сплошной древесины зависит от того, насколько тонкими их можно вырезать. Если доски после этого приходится строгать на значительную величину, то при тех же затратах лучше применять морскую фанеру. Однако если на верфи имеется высокооборотный рейсмусный станок, который режет полосы шириной 120 мм так, что их поверхность не нуждается в дополнительной строжке, то дешевле применять сплошную древесину. Любители, считающие метод диагональной обшивки оптимальным, применяют чаще всего полосы фанеры, причем три слоя таких полос склеивают встык в одном диагональном направлении.

Последовательность процесса диагональной обшивки такая:

1. В первом слое каждую полосу фанеры склеивают только с продольными связями и встык с лежащей рядом полосой. Запрессовка осуществляется с помощью скоб из нержавеющей стали, которые глубоко забивают и оставляют в полосах.

2. Второй слой полос фанеры крепят такими же скобами в районе стрингеров, пробивая через первый слой. Скобы тоже оставляют. Для гарантии достаточного давления запрессовки на стыки кромок полос второго слоя укладывают дополнительные полосы фанеры и через них забивают скобы. После склеивания эти скобы вместе с дополнительными полосами снимают с обшивки.

Прежде чем наклеивать второй слой на первый, стыки слегка зачищают обычно с помощью маленького торцового рубанка. Плавность обвода контролируют, прикладывая к корпусу продольную гибкую рейку.

3. Скобы забивают с помощью пневматического пистолета, сжатый воздух поступает из нормального баллона через дроссельный клапан, редуцирующий давление до 6—8 кгс/см². Таким образом, нажав пальцем на кнопку, забивают в дерево проволочные скобы длиной 15—30 мм. Регулированием давления воздуха можно добиться того, что спинки скоб будут или на одном уровне с поверхностью дерева или утоплены в нее на 1 мм. После удаления скоб остаются такие крошечные отверстия, что они не портят вида лакированной наружной обшивки (рис. 77).

4. Подгонку отдельных полос фанеры можно производить рубанком. Но даже любители часто используют маленькие ручные электрические фрезы с диаметром фрезы около 10 мм. Полосу, которую нужно подогнать, прикрепляют на расстоянии 4—8 мм от кромки уже поставленной полосы тремя гвоздями так, чтобы она плотно прилегала к нижнему слою. Затем, установив в зазор между кромками фрезу, ведут ее сверху вниз, наблюдая за тем, чтобы упор фрезы плотно прилегал к кромке ранее поставленной полосы.

5. Клей лучше всего наносить зубчатым пластмассовым шпателем. В пластмассовом сосуде приготовляют столько клея, сколько необходимо для склеивания одной полосы.

6. Спинки скоб, которыми крепят третий слой фанеры, утапливают примерно на 1 мм. Это позволяет выполнить чистовую обработку наружного слоя обшивки, начиная с проострожки торцовым рубанком. Если продольный наружный слой предполагается лакировать, скобы из полос осторожно удаляют. Остающиеся крошечные отверстия постепенно забухают или заполняются наполнителем и естественным лаком.

Транец или изготовляют заранее и обшивают вместе с корпусом как часть наружной обшивки, или подгоняют в уже готовую обшивку. Второй путь более трудоемкий, но позволяет избежать неточностей, которые возможны при развертке и изготовлении транца. Вместо транцевого шпангоута для этого случая надо подгонять вставки из брусков между стрингерами, чтобы для транца была обеспечена достаточная площадь склеивания. В крайнем случае транец надо перекрывать третьим слоем наружной обшивки, так как к нему приложены относительно большие силы от ахтерштага.

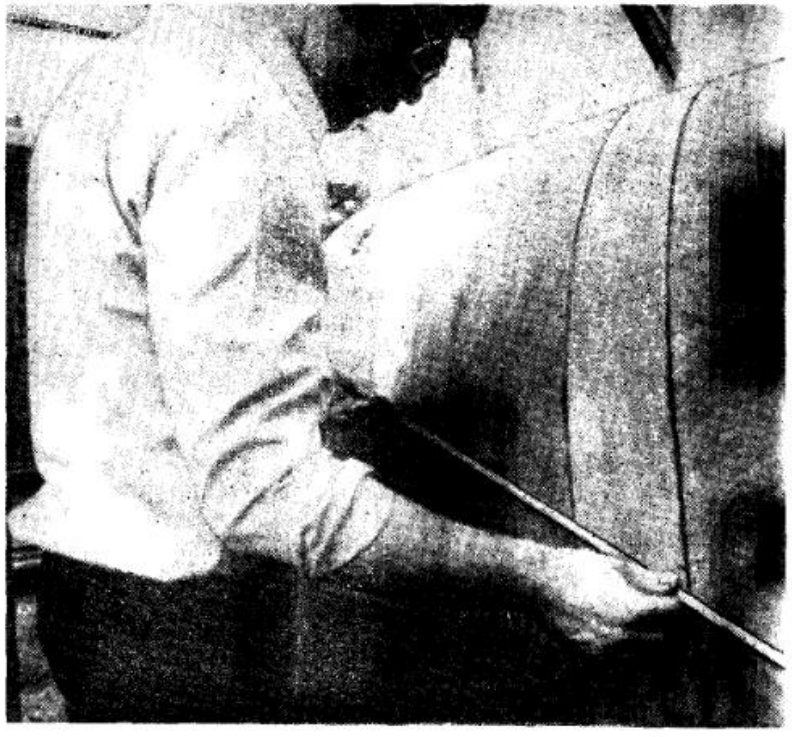


Рис. 77. Диагональная обшивка из полос фанеры на стапель-кондукторе



Готовый корпус снимают с шаблонов шпангоутов с помощью талей, закрепленных на транце и форштевне, после того как все соединения между системой шаблонов и оболочкой корпуса освобождены. Если речь идет о серийной постройке, то сооружение из шаблонов шпангоутов оставляют и используют для постройки следующих корпусов. Для этого случая целесообразно иметь шаблоны более жесткой и прочной конструкции, чем при одиночной постройке судна.

После снятия корпуса с шаблонов его зачищают в положении килем вверх, так как это требует намного меньше усилий, чем работа фуганком, циклей и пробкой в потолочном положении — над головой. Затем готовый корпус раскантовывают в нормальное положение, устанавливают настил палубы и выполняют последующую сборку.

Для самостоятельной постройки диагональный метод обшивки играет важную роль. Применяя этот метод, можно построить высококачественную яхту с относительно немногочисленными приспособлениями и оборудованием и несмотря на это профессионального качества. Особое преимущество многие видят в чистой работе и возможности в любое свободное время подогнать и наклеить несколько полос фанеры без посторонней помощи.

## 3.8. КОРПУСА ИЗ ФОРМОВАННОЙ ФАНЕРЫ

Формование корпуса из полос шпона производят на прочно построенной положительной форме — болване или пуансоне. Стоимость изготовления формы примерно равна стоимости постройки двух корпусов на ней. Из этого следует, что применять подобный способ можно исключительно для постройки серийных яхт.

Есть судоверфи с большим опытом изготовления высококачественных формованных корпусов яхт, которые начинали с выпуска небольших швертботов и закончили постройкой 10-метровых корпусов. Формованные корпуса идут почти исключительно на другие верфи, занимающиеся сборкой яхт, или продаются любителям.

Иногда делаются попытки строить формованными из шпона яхты длиной 14 м и более. В подобных случаях привлекает удивительно благоприятное соотношение массы и прочности шпоновых корпусов, которое позволяет достигать минимального водоизмещения готовой яхты. Однако опытные изготовители формованных корпусов по причине низкой рентабельности производства больших яхт постепенно ограничились выпуском судов разумных размеров. Особенно привлекателен этот метод постройки для яхт, перевозимых на трейлерах, у которых

оптимальные размерения ограничены еще грузоподъемностью трейлера. Неудивительно, что яхты для трейлеров занимают все еще большое место в программах изготовителей формованных корпусов.

Изготовлением корпусов методом формования из шпона по выше упомянутым причинам занимаются лишь немногие специалисты, которые, как правило, делают из своего искусства большую тайну. Секрет состоит в том, что качество постройки зависит главным образом от ловкости рук работающих. Этот метод вряд ли можно механизировать, и только тщательная отработка технологии позволяет выпускать яхты ненамного дороже судов с корпусами из пластмасс.

*Пуансон (болван)* изготовляется солидной прочности и деревянных реек, которые крепят шурупами на остов из шаблонов шпангоутов, установленных на основание — стапель (рис. 78). Для киля и форштевня в болване делают соответствующие пазы. Эти детали изготовляют на особом шаблоне ламинированными и, прежде чем уложить их в паз на болване, склеивают между собой в закладку.

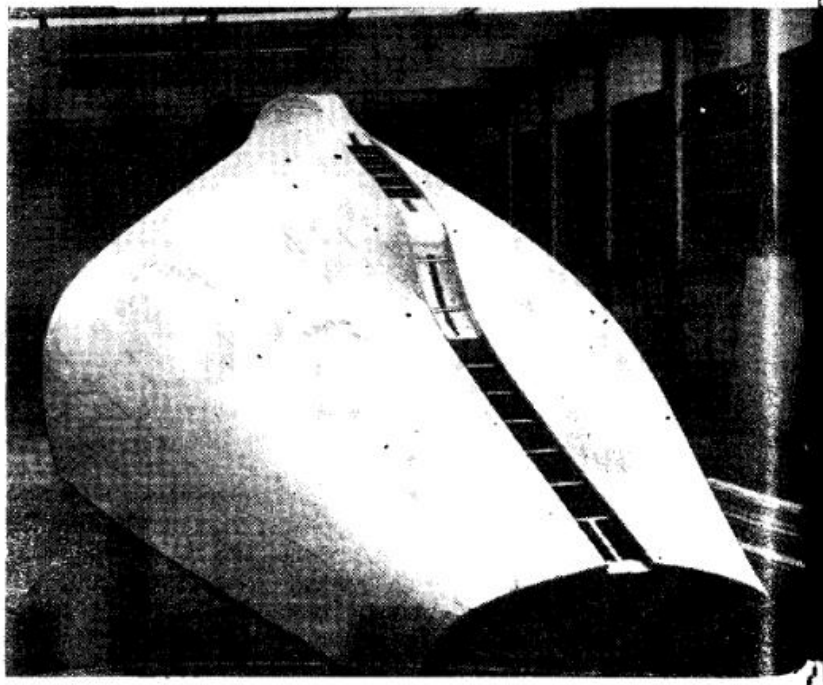


Рис. 78 Болван — положительная форма, на которой строят клееные корпуса стоит примерно в два раза дороже, чем построенный по нему корпус.



Подгонка полос фанеры, каждая из которых состоит самое меньшее из пяти слоев, самая ответственная ручная работа. Ее выполняют маленьким торцовым рубанком, после того как полосу фанеры закрепят несколькими скобами на болване. Первый слой из полос фанеры оставляют на болване, в то время как второй слой, который кладут диагонально примерно под 90° к полосам первого, после подгонки снимают для нанесения клея (рис. 79).

Применяют обычный резорцинновый клей, используемый при постройке яхт для всех видов склеивания, выполняемого в холодном состоянии. В данном случае клей должен быть рассчитан на особенно длительное время, при котором выдерживаются намазанные детали. Дело в том, что полосы фанеры, которые закреплены скобами на болване, снимают по отдельности и после нанесения клея снова укладывают на то же самое место.

Особенностью процесса склеивания является запрессовка посредством покрывала из прорезиненной ткани, вырезанного по размерам пуансона. На нижней кромке болвана покрывало плотно прижимается специальным зажимным устройством. Из

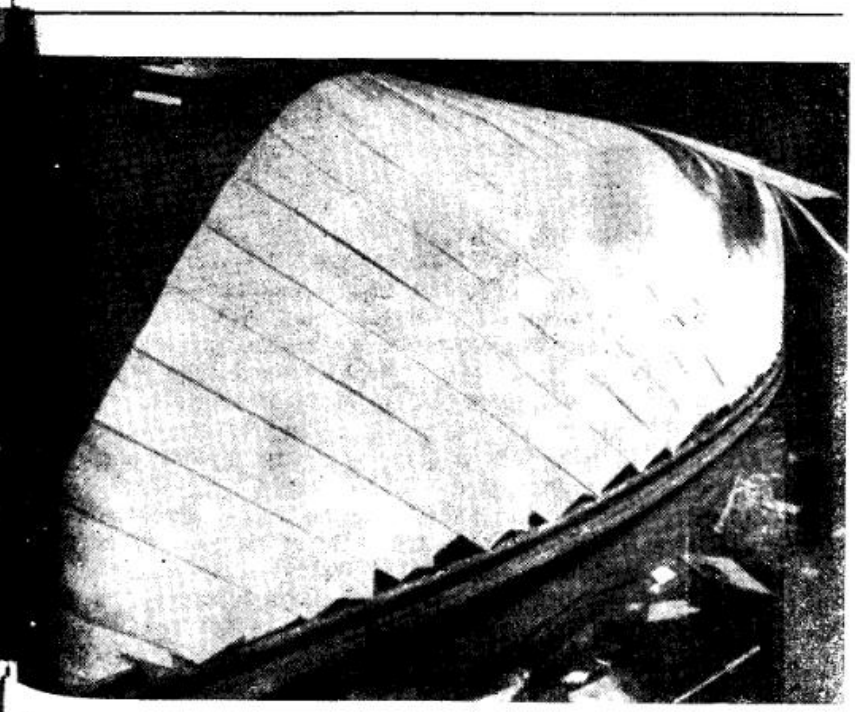


Рис. 79. Подогнанные и прихваченные скобками листы шпона надо снимать по отдельности и после нанесения клея вновь укладывать на болван.

пространства между покрывалом и болваном с помощью куумного насоса удаляется воздух. Благодаря этому резин мешок плотно прижимает полосы фанеры к поверхности бол вана, обеспечивая давление запрессовки.

Подгонку и склеивание выполняют столько раз, сколько предусмотрено слоев фанеры. Это утомительная и кропотл работа.

Готовую скорлупу снимают с болвана после того как ной дисковой пилой отпилят несколько сантиметров общ на нижней кромке пуансона. В этой отрезанной полосе н дится множество скрепок, так же как в киле и форштевне возможности нужно избегать ставить скрепки между э конечными точками, а если без них не обойтись, то по о чании каждого склеивания скрепки удалять. Изготовлен таким образом формованная оболочка корпуса еще очен менчивая и гибкая, поэтому в большинстве случаев в нее сраз же вклеивают предусмотренные проектом привальные бр сья.

Для определенных типов яхт палубу и рубку строят о временно с корпусом и тоже в формованном исполнении. Наружный слой делается из тиковых реек, как у обычной палубы. На маленьких яхтах высота в рубке всегда имеет критическую величину и высота бимсов рубки занимает несколько сантиметров. Поэтому формованная из шпона рубка без бимсов и другого набора является логически оправданной конст цией. Сильно выпуклая крыша рубки в формованном испо нии не нуждается в подкреплении бимсами; на основной п бе вследствие меньшей стрелки поперечной погиби требу установка нескольких бимсов.

Формованные рубки часто имеют внутри декоративный из светлого дерева. Формованные рубки и надстройки не де шевле в изготовлении обычной сборной конструкции, хотя немного легче. Однако выполненные для определенного тип судна рубки используются также для других яхт аналогичны размерений. В последнее время формованные деревянные кор пуса стали очень популярны. Из-за высокой цены на верфи за казывают обычно только корпус и оснащают его современно легкой выпуклой палубой из фанеры. Этот вариант дает да преимущество в остойчивости.

Чтобы на очень маленькой яхте получить желаемое меж палубное пространство, любители строят иногда по собствен ному проекту рубки и надстройки увеличенной высоты, кот рые, однако, не гармонируют с корпусом и могут ухудшить эксплуатационные качества судна. Именно для таких случае рациональна формованная надстройка без бимсов, обеспечив ющая достаточную высоту внутри каюты. С другой стор благодаря сильной двойной выпуклости, придающей ж кость, боковые контуры формованной надстройки оптиче выглядят более низкими.



к набору корпуса. Эти металлические усиления комбинируют с одним или двумя рамными шпангоутами, в большинстве случаев сварной конструкции из легкого сплава. Ширина верхних концов шпангоутов увеличена с той целью, чтобы крепить стоячий такелаж и передавать натяжение вант по возможности равномерно на корпус.

*Рули* деревянных яхт изготовляют почти исключительно из металла. Небольшие балансирные рули моторных яхт отливают иногда даже с баллером за одно целое. Если руль имеет большую поверхность, то его делают сварным из стали, бронзы или нержавеющей стали. Плавник руля через фланец крепят болтами или шурупами к корпусу. Конструктивно плавник в большинстве случаев рассчитывают только на выдерживание сил, возникающих при боковом обтекании его водой, но не на поддержание руля. Рулевое устройство поэтому обыкновенно рассчитывают как самостоятельно воспринимающее нагрузку от давления воды на поверхность руля. На рис. 82 показаны наряду с типичной простой конструкцией руля также сделанный из нержавеющей стали дейдвуд гребного вала и типичный деревянный фундамент под двигатель.

# ГЛАВА 4. ПОСТРОЙКА КОРПУСА ИЗ МЕТАЛЛА

## 4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Металл как строительный материал для постройки яхт получил признание только в первой трети XX столетия. В то время как медь, латунь и бронза уже широко использовались в соединениях деревянных конструкций, сталь долгое время расценивали как ржавеющий металл. Только из-за возникшего дефицита в цветном металле сталь быстро завоевала признание благодаря исключительно большой прочности и надежности. Она особенно эффективна в случае применения сварных соединений, которые при использовании цветных металлов часто оказываются недостаточно прочными и надежными.

В качестве материала для корпуса сталь начали использовать в то время, когда клепка получила признание при постройке больших яхт. А собственно открытие стали как надежного и недорогого материала для постройки яхт произошло лишь после того, как специалисты научились чисто сваривать сталь толщиной менее 2 мм.

После второй мировой войны в Европе получили распространение алюминиевые сплавы, устойчивые к коррозии в морской воде и обладающие хорошей свариваемостью в среде инертных

газов — аргона и других. Из этих сплавов можно строить не только очень прочные корпуса яхт, масса которых примерно наполовину меньше массы стальных яхт, но и не подверженные коррозии. Вдвое высокая цена материала кажется оправданной, если принять во внимание преимущества, которыми обладают только высококачественные, полностью клееные корпуса яхт из дерева.

Корпуса яхт из стеклопластика, вопреки мнению, получив-шему широкое распространение среди яхтсменов, не м конкурировать с современными конструкциями, изготовлен ми из легких сплавов или дерева, по показателю соотноше массы к прочности конструкции. Хорошие и прочные кор яхт из пластмасс не являются ни легкими, ни дешев Трехслойные конструкции («сэндвич») довольно легкие, н применение для больших яхт проблематично вследствие в кой стоимости и часто недостаточной прочности. Высокие ходы на изготовление моделей ограничивают применение т слойных конструкций серийной постройкой.

Итак, легкий металл для яхт средних размеров, от кото ожидают высоких достижений в гонках, видимо, станет ст тельным материалом будущего.

По сравнению со сталью недостатком легкого сплава, кр более высокой цены, можно считать известную восприим вость к электролитической коррозии в морской воде, е были допущены дефекты при постройке яхты или ее хране

В поисках оптимального металла для постройки корпу яхт несколько лет тому назад стали использовать легирован ные стали, которые применялись для промышленных установок, работающих под разрушающим влиянием воздуха. Но оказа лось, что они более подвержены коррозии, чем обычная судо строительная сталь.

Некоторые специалисты видят будущее в применении вы колегированных хромоникелевых сталей с добавлением мо дена или аустенита. Однако эти устойчивые к коррозии окислению стали стоят в 4—6 раз дороже обыкновенной с строительной стали и тем не менее не дают гарантии абсол ной устойчивости к коррозии в морской воде (особенно в более агрессивной смеси соленой воды с пресной, которая вает в некоторых гаванях).

Видимо, рациональное решение при постройке яхт из мет ла заключается в применении обыкновенной судостроитель стали в сочетании с ее тщательной пескоструйной обработ и современной продолжительной консервацией. В этой обла накоплен богатый опыт крупного судостроения, который мо быть использован и для постройки яхт.

Яхты из стали, подвергнутой длительной консерва строятся уже более полутора десятка лет в Голландии. Е годно осенью, когда яхты поднимают из воды, владельцы



следуют состояние их корпусов на явления коррозии. Результаты были так хороши, что теперь и в ФРГ все больше яхтсменов решаются на приобретение стальных яхт, особенно когда их интересуют надежность яхты и доступная цена. Даже в Англии и Скандинавии, где наряду с обычной постройкой яхт из дерева было налажено серийное производство пластмассовых судов, открывают теперь верфи по постройке стальных яхт. В Австралии и Новой Зеландии, где наряду с деревянным судостроением получила распространение постройка яхт из армоцемента, конструкторы яхт и любители постепенно переходят на сталь.

Удивительно, что и владельцы дешевых небольших пластмассовых яхт переключаются на более крупные суда из стали. Этот интерес к стали можно объяснить, очевидно, тем, что в однородном материале, каким являются металлы, менее вероятны скрытые дефекты. У стальных судов пористый шов сварки становится причиной течи, поврежденное место быстро ржавеет и, таким образом, дефект обнаруживается. У плохо построенных корпусов из дерева, армоцемента или пластмасс гниль в деталях деревянного корпуса и подкрадывающуюся эрозию из-за медленно проникающей воды в наружную обшивку из армоцемента или пластмасс обнаруживают обычно слишком поздно.

Важным преимуществом металлов как материала для корпусов является их практически несравнимая долговечность. Достоинством этим обладает еще разве что дерево, которое по устойчивости к продолжительным переменным нагрузкам практически не превзойдено никаким другим строительным материалом.

*Конструирование и определение размеров элементов набора* стальных яхт не представляет никаких проблем. Конструкторы и классификационные общества обращаются здесь к многолетнему опыту в области крупного судостроения. Если взять за основу предписания классификационного общества, например, Германского Ллойда, то можно рассчитывать на продолжительность жизни яхты 40 лет и более при соответствующем контроле и уходе.

Более низкую прочность корпуса из легких сплавов можно компенсировать соответственно увеличенными размерами. При использовании наиболее употребительных алюминиевых сплавов толщину деталей корпуса следует увеличить по крайней мере на 50%, чтобы получить равнопрочную со стальной конструкцию. Вопреки мнению, широко распространенному среди любителей, толщина деталей корпуса при применении нержавеющей стали обычного качества не может быть уменьшена. Предел текучести таких высоколегированных сталей лежит ниже предела текучести нормальной судостроительной стали, а этот показатель важнее для определения размеров,

чем несколько более высокий предел прочности при разрыве (временное сопротивление). Вмятины и прочие изменения формы стали появляются уже при относительном удлинении 0,2%, поэтому предел текучести принимается в качестве основы для всех расчетов прочности.

Для яхт длиной до 20 м продольная прочность (или общая) на изгиб обычно не является критерием. Опасность, что между шпангоутами в наружной обшивке появятся вмятины, гораздо больше. Многие из дешевых почти безнаборных стальных яхт с остроскулыми обводами сохраняются от повреждений по той причине, что их владельцы избегают жестких условий эксплуатации со значительными нагрузками.

Опытные конструкторы и верфи могут проектировать корпуса с размерами набора, не совпадающими с предписаниями классификации, которые не учитывают ни степень деформации наружной обшивки, ни поведение яхты на волне. А именно эти факторы имеют решающее влияние на нагрузку соединений и деталей набора и, следовательно, на их необходимые размеры. Поэтому опытный конструктор, точно знающий свои критерии конструирования, может более обоснованно определять размеры набора и проектировать более легкие корпуса, чем это возможно по правилам классификационного общества.

В дальнейшем будут рассмотрены методы, которые сегодня разработаны и внедрены в технологию постройки корпусов яхт из металла. Любителей особенно могут заинтересовать процессы постройки яхт средних и небольших размеров и описания. В конце этой главы упрощенная технология постройки яхт с остроскулыми обводами.

Так как в последовательности работ при постройке с из стали, алюминия и нержавеющей стали не существует какого различия, а в процессах обработки разных мета это различие незначительно, то нет необходимости разде методы постройки судов из этих материалов. Наряду со свойствами материалов, которые должен учитывать конструктор технологии постройки судов из металлов, основное разли заключается в методах обработки резанием и сварки: толь сталь можно резать с помощью газовой горелки и сварива электросваркой, не применяя защитного газа.

## 4.2. СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ

*Судостроительная сталь* — это недорогая специа ная сталь, удовлетворяющая определенным требованиям свар ваемости, деформативности и обладающая минимально доп стимыми для данных условий физико-механическими сво ствами. Для обеспечения качественной сварки содержание у лерода в стали не должно превышать 0,23%, что возмож



только у стали Сименс-Мартен (SM-сталь) или у стали, полученной особым способом. В судостроительной стали ограничивают также содержание таких примесей, как фосфор или сера.

Обычная судостроительная сталь имеет предел текучести 24 кгс/мм², предел прочности 41—50 кгс/мм² и относительное удлинение при разрыве 22%. Эти цифры самые минимальные. Если судостроитель желает иметь гарантию качества стали, то он требует, чтобы каждый лист или профиль были промаркированы (знак изготовителя, название материала и номер плавки). Надежнее, конечно, заказывать судостроительную сталь с сертификатом классификационного общества. Большинство классификационных обществ внутри понятия «судостроительная сталь» различают еще группы качества A—E, которые относятся к материалу различной толщины.

Кроме нормальной судостроительной стали классификационные общества допускают применение судостроительных сталей высокой прочности, которые, обладая более высокими пределами текучести, оказываются весьма трудоемкими при механической обработке. Сталь с пределом текучести 32 кгс/мм² в обработке ненамного сложнее обычной. Все детали из этой стали можно соответственно уменьшить в размерах, что хотя и способствует снижению массы, но приводит к появлению деформации из-за напряжений при сварке. Последнее является также причиной, по которой для постройки яхт чаще всего применяют нормально прочную судостроительную сталь.

Листовой материал для постройки яхт подвергается испытанию на изгиб. Классификационные общества требуют испытывать на изгиб образец, вырезанный из листа, на 180° вокруг стержня, диаметр которого зависит от толщины пластины. Для обычной судостроительной стали, например, диаметр стержня должен быть равен трем толщинам пластины. Этому испытанию на изгиб материал должен подвергаться в холодном состоянии и выдерживать его без трещин.

Нержавеющие стали при определенных условиях могут подвергаться коррозии. В присутствии электролита — морской воды — поражения возникают в виде контактной коррозии при соприкосновении с другими материалами (особенно со сплавами железа), а при наличии механических напряжений — в виде коррозии трещин под напряжением (щелевая коррозия). Самый большой недостаток нержавеющих сталей заключается в восприимчивости к точечной коррозии, которая затем развивается в глубине металла при соприкосновении его с морской водой. Для ограничения последнего вида коррозии надо использовать только определенные сорта нержавеющей стали, содержащие сплавы молибдена. Из нержавеющих сталей,

доступных в ФРГ, можно рекомендовать сплавы, которы имеют следующие характеристики:

| Материал | Предел текучести, кгс/мм² | Предел прочности, кгс/мм² | Относительное удлинение при разрыве, % |
|---|---|---|---|
| 1.4401 | 21 | 50—70 | 45 |
| 1.4404 | 20 | 45—70 | 45 |
| 1.4571 | 23 | 50—75 | 40 |
| 1.4580 | 23 | 50—75 | 40 |

Эти сплавы признает также Германский Ллойд для ра в морской воде и для сварных конструкций. При использ нии других нержавеющих сталей изготовитель должен гара ровать или доказать их пригодность для запланирова целей. В неполированном состоянии детали из этих ст неплохо подвергать консервации и грунтовке. Очистка и за полированными деталями также необходимы.

*Легкими сплавами* называют алюминиевые сплавы, кот находят применение в судостроении для сварных конструк Так как основная составная часть сплава — алюминий, в книге широко используется также термин «алюминий», к не имеется в виду определенный сплав.

На практике оправдали себя достаточно хорошо то немногие сплавы из тех, которые были предложены как «ус чивые к морской воде». Это, например, давно известный сплав алюминия с магнием AlMg3 по DIN 1725 со следующими характеристиками:

| Материал: обозначение, состояние, сортамент | Предел текучести, кгс/мм² | Предел прочности, кгс/мм² | Относительное удлинение при разрыве, % |
|---|---|---|---|
| F-21, нагартованный, листы толщиной 4—10 мм | 14 | 21 | 12 |
| F-20, нагартованный, листы | 12 | 20 | 14 |
| F-18, прессованные трубы и профили | 8 | 8 | 14 |

Листовой материал из этого сплава хорошо обрабатыва и очень устойчив к морской воде.

Для более высоких требований к данным по прочности создан смешанный алюминиевый сплав AlMg4,5Mn по DIN 17 который к тому же в достаточной степени устойчив к морск воде. Предел текучести прессованных профилей, котор применяют для шпангоутов, бимсов и продольного набор вдвое выше, чем предел текучести сплава AlMg3. Лист из этого сплава бывают в упрочненном и мягком (отожже ном) состоянии. Сплав AlMg4,5Mn по DIN 1725 имеет следу щие механические характеристики:



| Материал: обозначение, состояние, сортамент | Предел текучести, кгс/мм² | Предел прочности, кгс/мм² | Относительное удлинение при разрыве, % |
|---|---|---|---|
| F-30, упрощенный, листы толщиной 4—30 мм | 21 | 30 | 12 |
| F-28, мягкий, листы толщиной 4—30 мм | 12,5 | 28 | 16 |
| F-28, прессованные профили и трубы | 16 | 28 | 12 |

Сплавы AlMg3 и AlMg4,5Mn обладают хорошей свариваемостью. Наружную обшивку рекомендуется изготовлять из одного материала для обеспечения малой разности потенциала, а детали из другого сплава применять только для внутреннего набора. Так, для наружной обшивки применяют иногда самый устойчивый к морской воде и хорошо деформирующийся сплав AlMg3, а внутренние связи изготовляют из более прочного сплава AlMg4,5Mn F-28 (в виде прессованных профилей). Предел текучести упрочненных сплавов алюминия AlMg3 и AlMg4,5Mn в районе сварки уменьшается примерно на 20%; у мягкого материала это уменьшение несущественно. Литые детали из алюминия, стали и ниро (сплава типа монель-металла) в конструкции корпуса яхт применяют редко, поэтому здесь они не рассматриваются.

*Удлинение* (или линейное расширение) вследствие изменения температуры является свойством материала, которое должно учитываться конструктором только в том случае, когда, например, стальные корпуса снабжают алюминиевыми надстройками. У алюминия коэффициент линейного расширения $\alpha$ в два раза больше, чем у стали (для алюминия $\alpha = 23 \cdot 10^6$; для стали $\alpha = 11{,}5 \cdot 10^6$). Этот фактор конструктор должен учитывать при определении размеров и конструкции соединения деталей, собираемых из различных материалов. Правильный выбор материала для всех деталей корпуса — важная задача конструктора.

## 4.3. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА

Об обработке металлов написано большое количество специальных книг. В этой книге рассмотрены только те производственные процессы, которые преобладают в постройке корпусов яхт.

*Резание* относительно тонкого листового металла, будь то нержавеющая сталь или алюминий, можно осуществлять с помощью гильотины (механические ножницы с падающим ножом) или ручными электрическими ножницами при толщине листа до 6 мм из обычной судостроительной стали, около 4 мм из нержавеющей стали и около 7 мм из алюминиевых сплавов. Листы толщиной до 4 мм из стали и 6 мм из алюминия

режут также мощными электрическими дисковыми пилами. Для резания алюминиевых листов толщиной 10 мм и больше можно применять ленточные пилы со специальными полотнами. Даже простую ручную пилу можно использовать для резания этого материала. Стальные листы толщиной более 6 мм чаще всего режут с помощью автогенной резательной горелки.

Автогенная резка — самый употребительный способ резания судостроительной стали. Детали из более тонких листов часто вырезают горелкой, если форма детали вследствие кривизны кромок не позволяет этого делать ножницами. Алюминий и нержавеющую сталь резать автогенным аппаратом нельзя. Эти материалы сильно плавятся и слипаются. Если в качестве материала корпуса используется нержавеющая сталь, то резание ее становится проблемой. Решение задачи находят в резке с помощью плазмы.

Плазменный режущий аппарат — дорогостоящее оборудование, требующее установки плаза на эту систему. Каждая деталь должна быть точно вычерчена на искусственной пленке (фольге) (рис. 83). На эту пленку, подготовленную на плазе, настраивают с помощью электронной клавишной системы автоматически движущуюся головку для резания, которая по чертежам на пленке с точностью до долей миллиметра вырезает одну деталь или сразу несколько из сложенных пакетом листов. Эту автоматическую режущую установку применяют только для нормальной судостроительной стали. Но если надо резать алюминий или нержавеющую сталь, то используют специальную охлаждаемую водой головку для резания специальной смесью газа, благодаря чему достигается самая высокая точечная концентрация температуры. Края разреза получаются настолько чистыми, что почти не требуется их дополнительная обработка. Современная верфь по постройке яхт, располагающая такой установкой, имеет возможность особенно рационально строить яхты из алюминия, так как исключается дорогостоящая и менее производительная обработка кромок с помощью пил.

*Гибку* деталей из металла можно разделить на два вида. К первому относятся все процессы гибки, при которых напряжение не превышает предела текучести материала, а значит нет остаточной деформации, и материал после снятия нагрузки может, следовательно, еще пружинить. Это касается обшивки корпуса яхт с двойной скулой, а также случаев, когда продольные стрингеры рассчитаны так, что при их установке в корпус не требуется деформации с напряжениями, превышающими предел текучести. При таких условиях детали корпуса можно изготовлять с относительно малыми затратами при помощи струбцин и вспомогательных талей.

Гибка, при которой напряжения превышают предел текучести материала, применяется в основном для изготовления



шпангоутов и палубных бимсов, труб для лееров и прочих палубных деталей.

Гибка шпангоутов для корпусов с круглоскулыми обводами и поперечной системой набора относится к самым важным технологическим процессам при постройке яхт. Методы гибки зависят от размеров яхт и профилей шпангоутов. При серийной постройке благодаря соответствующим устройствам можно добиться существенной экономии трудоемкости.

Самый простой вид гибки шпангоутов — вручную. При этом важно применять для шпангоутов симметричные профили,

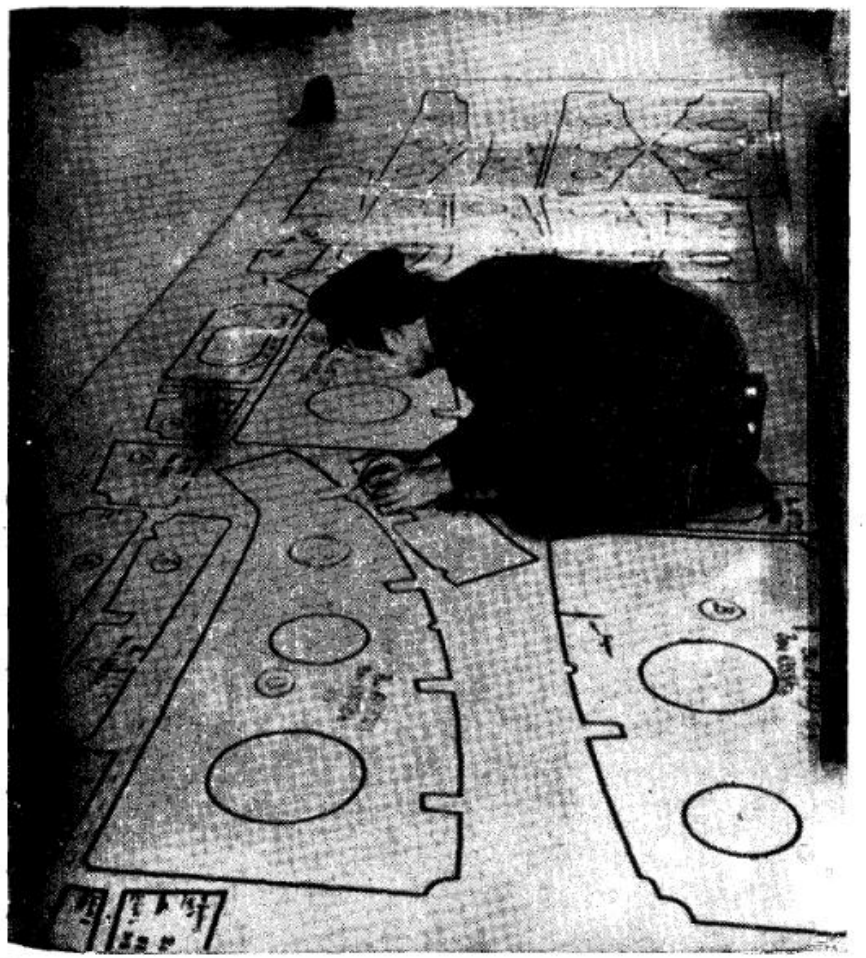


Рис. 83. Для автоматического вырезания деталей из стальных листов с помощью плазменной установки все детали вычерчивают на пленке.

фланец которых, однако, должен быть таким широким, чтобы предотвратить потерю устойчивости формы в процессе гибки. В качестве оборудования служат две солидные стальные опоры, приваренные к неподвижной плите или фундаменту. Расстояние между опорами настраивают соответственно профилю шпангоутов. Рабочий, действуя шпангоутом как рычагом, подает его вперед на 3—5 см, добиваясь получения нужной формы. После того как на одной половине длины профиля шпангоута получена желаемая кривизна, его переворачивают, чтобы точно так же согнуть другую половину (рис. 84). При этом рабочий проверяет соответствие полученной формы обводу шпангоута, начерченному на плазе. Неопытные рабочие вынуждены гнуть шпангоутный профиль много раз. Специалистам в этой области часто удается точная форма шпангоута уже после одной примерки. Гнуть шпангоуты вручную можно для яхт длиной не более 10 м, так как при больших профилях уже не хватает физической силы.

Другой способ гибки шпангоутов — с помощью кувалды — широко применяется на небольших верфях. Профиль укладывают на две неподвижные стойки, отстоящие одна от другой на 20—30 см, и наносят удары кувалдой посередине пролета профиля (рис. 85). Для такой работы удобен симметричный Т-образный профиль, не имеющий односторонних выступов или плоскостей. Физически сильные рабочие по этому методу могут гнуть профили шпангоутов высотой примерно 50 мм для судов длиной около 12 м.

В принципе этим методом пользуются и при постройке очень больших яхт. В этом случае через горизонтально работающий гидравлический цилиндр с соответствующим штампом, так называемый «боксер», пропускается профиль шпангоута между двумя регулируемыми опорными точками. Для подобной гибки шпангоутов также необходим достаточный опыт.

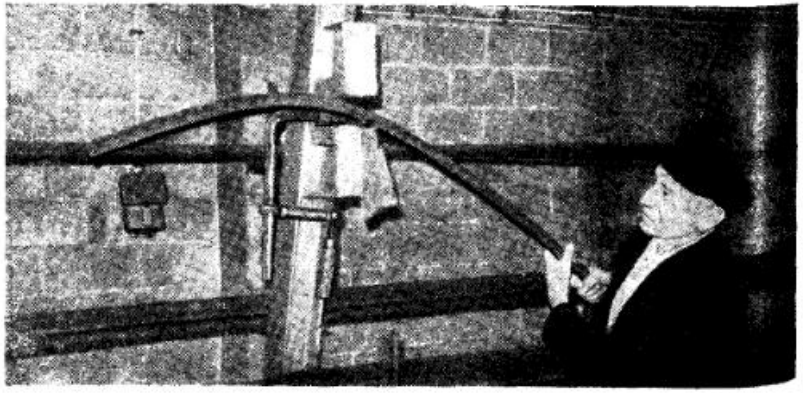


Рис. 84. Гибка Т-образного профиля шпангоута.

Гибка шпангоутов путем растягивания полок профиля — принципиально иной метод придания желаемой формы шпангоутам и палубным бимсам. Профилю шпангоутов любых размеров ударами кувалды или давлением гидравлических силовых прессов можно придать форму с положительной кривизной. Так как палубные бимсы всегда имеют положительную погибь, а у шпангоутов современных яхт отсутствуют S-образные изгибы, то такой метод гибки применим и для шпангоутов и для бимсов. Нужна только солидная наковальня и кувалда средней тяжести. Небольшие вмятины на профиле бимса или шпангоута в этом случае не являются техническим недостатком. Если для постройки используют несимметричные профили, например угольники, то после гибки методом растяжения профиль необходимо отрихтовать по плоскости. Это делают обычно несколькими ударами кувалды по профилю, уложенному на металлической плите.

Пространственная гибка (деформирование) означает деформацию более чем в одном направлении и применяется для неразвертывающихся на плоскость поверхностей. Постройка

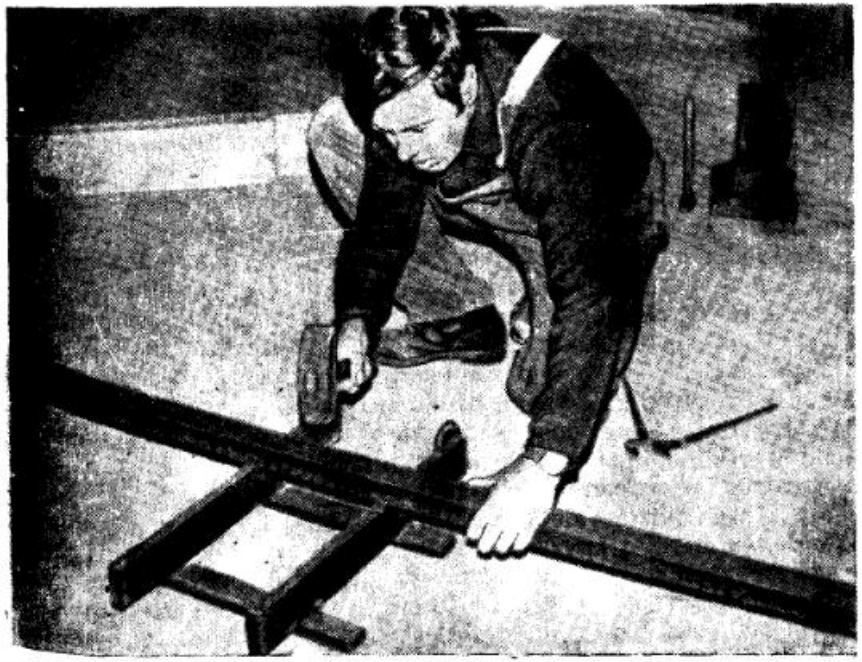


Рис. 85. Гибка профиля с помощью кувалды.

любой яхты с круглоскулыми обводами предполагает деформирование металла в значительной степени для наружной обшивки и иногда также для палубы и надстройки. Судостроители заинтересованы в том, чтобы все гибочные работы производились в холодном состоянии. Если это невозможно, то, следовательно, конструктор в своей работе не учитывал свойства материала.

На плазе, используя особые методы с припусками на растяжение и сжатие, выполняют развертку таких геометрически неразвертываемых на плоскости поверхностей, из которых вырезают листы наружной обшивки. Следует заметить, что точная развертка отдельных листов наружной обшивки на плазе проводится далеко не каждой яхтенной верфью.

Развертку листов, как правило, выполняют прямо на борту по установленному набору шпангоутов. Для этого к набору временно прикрепляют контуры будущего листа, собранного из тонких перекрестных реек, и, сняв его затем, получают шаблон в развернутом виде. Приложив шаблон к стальному листу, переносят на него контуры листа обшивки. Так как при этом методе трудно обеспечить высокую точность, часто производят обшивку корпуса с перекроем листов по пазам и выполнением сварных швов внахлест с перекроем в несколько сантиметров и угловыми швами по кромкам. Тем самым создаются условия для скрытого и неконтролируемого развития коррозии.

Гибка листов наружной обшивки — сложный процесс, требующий от рабочего не только умения, но и особого искусства. На верфях лишь немногие специалисты могут справляться с этой работой без многих проб и за короткое время. Для контроля за формой пользуются только деревянными шаблонами с соответствующей формой шпангоута в определенном месте листа. Скручивание и продольную погибь листа рабочие часто определяют на глаз. Сначала под гидравлическим прессом придают листу поперечную погибь. Затем выполняют продольную погибь и необходимое скручивание листа. Хорошо оснащенная верфь по постройке яхт использует для этого пресс со сменными головками, которые могут растягивать или сжимать лист. Обычно продольные кромки листа, уже имеющего поперечную погибь, укорачиваются под штамповочным прессом. Благодаря этому появляется не только продольная погибь, но и усиливается поперечная (рис. 86). В правильном чередовании этих действий и заключается умение рабочего.

Иногда даже любители отваживаются на деформацию металла яхты с круглоскулыми обводами, не имея ни пресса, ни какого-либо другого оборудования. Как ремесленные судостроители старых времен, они обрабатывают листы наружной обшивки разгонным молотком массой около 1 кг на наковальне или другом неподвижном основании. Деформация листа



достигается только благодаря растяжению средней части листа под ударами молотка.

Другой метод — это выколотка с помощью медного молотка массой 1—2 кг с длиной ребра около 80 мм и примерно квадратной плоско-выпуклой ударной поверхностью. В качестве подставки служит соответствующих размеров ящик с песком. При этом методе, по сравнению с методом разгонки на наковальне, получается якобы меньше вмятин. Однако в этом случае можно практически выполнить только одностороннюю погибь листа, так как песок оседает и растяжение благодаря уменьшению толщины листа незначительно.

Еще один метод состоит в том, что желаемое уменьшение длины кромок листа достигается под воздействием тепла, выделяемого газовой горелкой. Нержавеющую сталь и алюминий обрабатывать газовой горелкой нельзя. Но в ограниченных масштабах можно достичь нужной деформации кромок благодаря чрезвычайной теплоотдаче металла. Для этой цели край листа, на котором должна появиться выпуклость, нагревают пламенем газа. Для сплавов алюминия такой прием небезопасен, так как прочность материала в случае перегрева

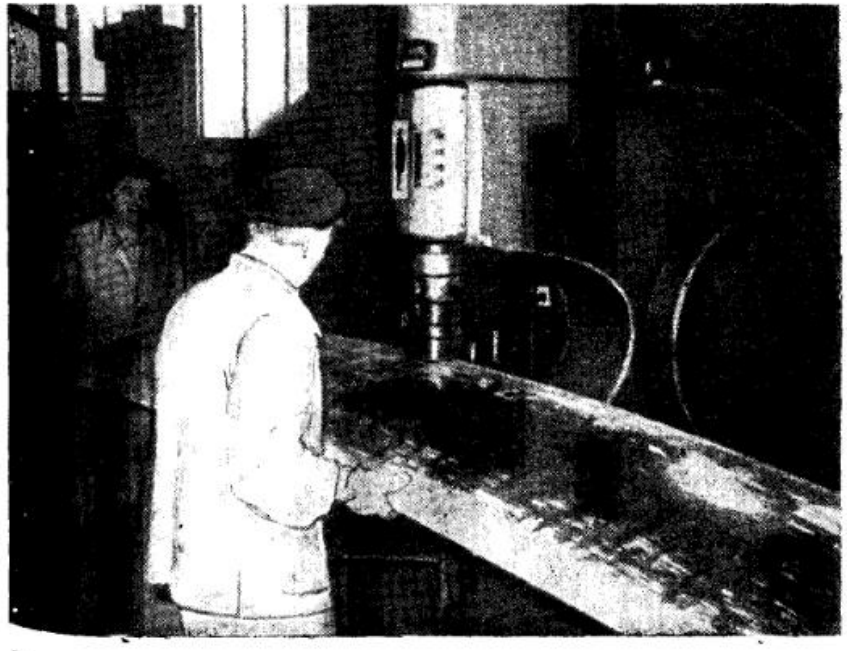


Рис. 86. Благодаря тому что края листов под прессом сокращаются, листам наружной обшивки придают продольную погибь и одновременно усиливают поперечную погибь.

может уменьшиться до 30%. Метод сжатия только под воздействием тепла, без механической деформации, не является рациональным решением и его редко применяют, так как при повторном воздействии тепла во время сварки напряжения усадки могут вновь уменьшиться и привести к более глубоким вмятинам.

### 4.4. КЛЕПКА И СВАРКА

Клепка при постройке яхт сейчас почти не применяется. Нет больше клепаных корпусов и палуб. Для надстроек из легких конструкций иногда еще используют такие методы клепки, которые первоначально появились в самолетостроении. Полые заклепки выполняют из легкого металла и с помощью специальных клещей стальной стержень с круглой головкой вытягивают наружу так сильно, что на внутренней стороне он вдавливает головку заклепки, прежде чем она сломается в определенном месте разлома. Однако подобные заклепки пропускают воду, недостаточно устойчивы против морской воды и непригодны для постройки корпуса. С обратной стороны они недоступны и их можно применять только для легких деталей и планок, которые не особенно сильно нагружены, например на мачте и гике.

Обычный вид клепки, хотя и создает необходимую прочность, но не может конкурировать со сваркой в смысле водонепроницаемости, простоты конструкции и долговечности. Клепаные конструкции из-за высокой стоимости и повышенной склонности к коррозии быстро исчезли из яхтостроения.

Сварка, следовательно, единственный способ соединений и постройке корпусов яхт из металла, если не принимать внимание соединение на болтах и винтах.

Газовая сварка неприемлема для судостроения, так как процесс этот медленный и идет с огромным выделением тепла что впоследствии приводит к сильным напряжениям и вмятинам.

Электрическая или, как она правильно называется, ручная дуговая сварка, является самым распространенным методом соединений конструкций из стали. Сварку производят обмазанным электродом средней толщины, для получения особо гладких угловых швов и горизонтальных швов используют сильно обмазанный электрод. Плавящаяся обмазка электрода покрывает основной свариваемый металл — жидкий в течение некоторого времени. За это время шлак поднимается на поверхность сварочной ванны. Загрязнения и шлаки обычно состоят из ржавчины, продуктов сгорания обмазки и первичного покрытия (пассивирующего слоя) листов и профилей. Более длительное жидкое состояние свариваемого металла, следовательно, является для сварки пассивированной стали весьма желательным



(этого преимущества не дает быстрая сварка в среде защитного газа).

Для постройки корпусов из стали с толщиной листов 3—6 мм лучше всего использовать выпрямители до 250 А, так как при сварке листов малой толщины не разрешается применять трансформаторы переменного тока. Трансформаторы можно применять, если они защищены и работают при напряжении 42 В. Для сварки электродами диаметром 2,5—4 мм, которыми пользуются при постройке яхт средних размеров, рекомендуются выпрямители и защищенные трансформаторы, рассчитанные на силу тока 180—250 А. Чтобы построить корпуса из более толстых листов, нужны, конечно, более мощные аппараты.

Для сварки в среде защитного газа характерно большое количество наплавляемого металла при незначительном выделении тепла. Она примерно на 50% производительнее обычной электросварки и незаменима для получения соединений из легких сплавов. Колпак защитного газа, образующийся посредством кольцевого сопла вокруг вольфрамового электрода, препятствует вредному образованию окислов и одновременно отводит тепло. Для сварки алюминия в качестве защитного используют инертный газ или смесь газов, как и для сварки нержавеющей стали. Чаще всего применяют способ сварки в инертном газе MIG (Metal Inert Gas), при котором используются плавящаяся электродная проволока диаметром 0,8—1 мм. Выделение тепла при этом незначительно, благодаря чему сварочные напряжения и деформации невелики.

При методе сварки вольфрамовым электродом WIG (Wolfram Inert Gas) в дугу, создаваемую с помощью неплавящегося электрода из вольфрама, вводят пруток из присадочного материала. Этим достигается особенно плотная сварка, конечно, при относительно высоком выделении тепла. Подобный метод применяют для сварки емкостей (баков) и мирятся с несколько бо́льшими напряжениями в пользу большей плотности швов.

При использовании метода сварки в углекислом газе MAG (Metal Activ Gas) работают не с инертным газом, а с активным углекислым газом. Выделение тепла при этом небольшое. Двуокись углерода является самым дешевым защитным газом. Способ хорош только для сварки стали и производительнее дуговой ручной сварки с обмазанным электродом. Однако при работе с пассивированной сталью есть опасность попадания частичек пассивирующего покрытия в основной свариваемый металл. В результате этого в металле шва образуются поры. При сварке методом MAG следовало бы удалять пассивирующий слой в районе сварочного шва. Однако в угловых швах Т-образных соединений между шпангоутами, днищевыми флорами и палубными бимсами с примыкающей обшивкой это трудоемкая работа. Поэтому при сварке в среде

углекислого газа угловые соединения тем не менее надо сваривать обмазанными электродами. Для любителя, самостоятельно строящего яхту, обычная электрическая дуговая сварка — самая простая и рентабельная. Классификационные общества признают только работу, выполненную дипломированными сварщиками. Чисто построенный корпус из металла только тогда хорош и надежен, когда хороши все его сварные швы.

В яхтостроении практикой найдены типовые *сварные соединения* и накоплен определенный опыт сварочных работ. При конструировании и постройке яхт необходимо учитывать некоторые основные требования, касающиеся выполнения сварочных работ:

1. Обеспечивать свободный доступ к свариваемым деталям.
2. Избегать появления напряжений в конструкции путем правильной последовательности выполнения сварки.
3. Стыковые швы должны располагаться самое меньшее на расстоянии 100 мм один от другого; 50 мм — минимальное расстояние между стыковым и угловым швами.
4. Избегать перекрестных сварных швов. Пересекающий угловой шов следует прерывать на стыковом шве, если не требуется обеспечивать водонепроницаемость.
5. На сгибах деталей по возможности обходиться без сварных стыков.
6. Не применять сварку в районе возможных сильных деформаций.

При ручной сварке листов толщиной до 5 мм Германский Ллойд допускает сварку стыкового соединения без разделки кромок. Ширина шва при этом должна быть равна половине толщины листа. Только для листов большой толщины требуется шов с V-образной разделкой кромок. Однако для получения высококачественного шва рекомендуется делать U-образную разделку кромок, начиная с толщины листа 4 мм. Основания стыковых и V-образных швов обрабатывают с обратной стороны путем шлифования, фрезерования или чеканкой с последующей подваркой. Основные типы сварных соединений показаны на рис. 87.

*Сварку наружной обшивки* со шпангоутами необходимо выполнять в определенной последовательности, если придается значение уменьшению сварочных напряжений и деформаций во всем корпусе.

После зачистки и разделки кромок листа под сварку его укрепляют с помощью струбцин на наборе, выставленном на стапеле (рис. 88). Сначала лист крепят на электроприхватках только по стыку снаружи, следя за тем, чтобы поверхности смежных листов плавно сопрягались, затем заваривают V-образный шов с внутренней стороны наружной обшивки. После этого плоским зубилом удаляют прихватки и подрубают корень шва, который затем обрабатывают снаружи шлифовальным кругом, металлической фрезой или V-образным зубилом. Подваривают шов снаружи и, если необходимо, производят рихтовку листов.

После сварки и рихтовки стыка ставят прихватки снаружи по продольным швам, предварительно придав жесткость свободному краю поставленного ранее листа с помощью временно приваренного угольника. Потом заваривают продольный V-образный шов изнутри корпуса. Далее срубают зубилом электроприхватки и обрабатывают корень продольного шва снаружи посредством шлифовального круга и подваривают шов.

Только после того как стык и продольный шов сварены в указанной последовательности, можно производить прерывистую сварку листа со шпангоутами. До последнего момента надо следить за тем, чтобы при сварке лист мог свободно деформироваться во избежание появления вмятины в обшивке от сварочных напряжений. После этого наружные швы шлифуют вровень с поверхностью обшивки.

Конструктор должен определить прочные размеры угловых сварных швов в соединениях шпангоутов, бимсов, ребер жесткости, несущих балок и т. д. с примыкающей обшивкой. Правила классификационных обществ гарантируют только прочное

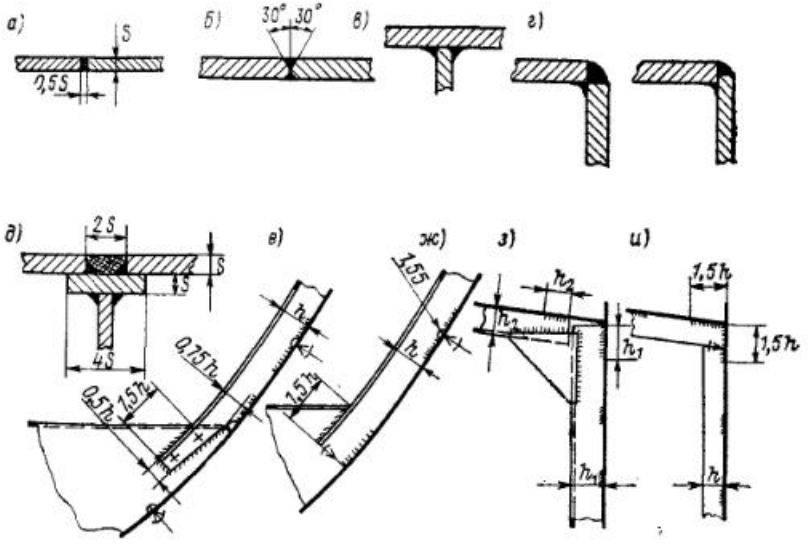



Рис. 87. Типовые сварные соединения: *а* — встык без разделки кромок; $S < 5$ мм; *б* — встык со скосом (с V-образной разделкой) кромок; $S > 5$ мм; *в* — тавровое соединение; *г* — угловое соединение; *д* — соединение на прорезях; *е* — соединение шпангоута с флором внахлест; *ж* — соединение шпангоута с флором вваркой; *з* — соединение шпангоута с бимсом посредством кницы; *и* — соединение шпангоута с бимсом встык.

соединение без учета сварочных деформаций и напряжений, возникающих в процессе сварки. Например, в правилах Германского Ллойда шахматные прерывистые швы разрешены только при толщине листа не менее 0,5 мм, хотя известно, что при такой сварке напряжения в обшивке невелики. Прерывистая сварка с очень малым калибром шва, которую требуют некоторые классификационные общества, по мнению многих верфей и конструкторов, излишняя. Это привело к тому, что

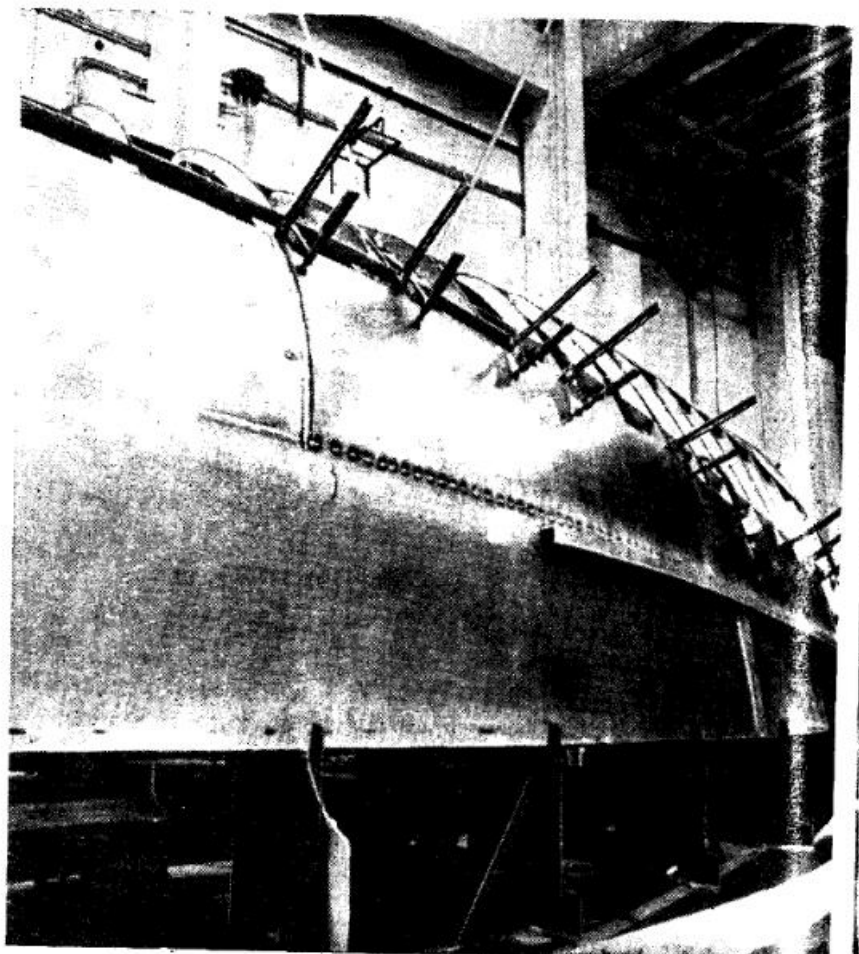


Рис. 88 Последовательность сварки при монтаже листа наружной обшивки: после того как стык сварен полностью и выровнен, прихватывают точечной сваркой продольный шов. На время сварки обшивку к набору временно прижимают струбцинами.



при постройке малых и средних яхт указаниями этих обществ пользуются исключительно редко.

Опытные верфи и конструкторы для прерывистой сварки Т-образных соединений пользуются своими собственными данными, которые они и применяют на практике. С требованиями классификационных обществ совпадают только сведения о калибре угловых швов и мнение, какие детали нужно сваривать непрерывно. Непрерывным швом сваривают с обеих сторон переборки цистерн, палубу с ширстреком, фундаменты под двигатели, стенки надстроек с палубой, соединительные кницы со шпангоутами и бимсами и все концы шпангоутов, бимсов, ребер жесткостей и балок по длине самое меньшее в полторы высоты профиля или балки. Калибр углового шва зависит от толщины стенки профиля, балки или переборки, которая приваривается к обшивке.

Рекомендуются следующие калибры углового шва $a$ в зависимости от толщины листа $S$:

| $S$, мм | $d$, мм |
|---|---|
| 3—4,5 | 2,5 |
| 5—6,5 | 3,0 |
| 7—8,5 | 3,5 |
| 9—10,5 | 4,0 |

Длина и шаг прерывистых швов для соединения таких деталей, как киль, днищевые флоры, шпангоуты, бимсы, переборки жесткости, а также основание киля и плавника руля с примыкающей обшивкой, согласно предписаниям классификационного общества, должны быть следующими (рис. 89):

| $S$, мм | Длина шва $l$, мм | Шаг $t$, мм |
|---|---|---|
| 3—4,5 | 25 | 55 |
| 5—6,5 | 30 | 65 |
| 7—8,5 | 40 | 85 |
| 9—10,5 | 55 | 110 |

В практике постройки яхт длиной до 12 м приведенные данные для шага $t$ по крайней мере удваивают и часто применяют сварку шахматным швом. Так как на яхтах, сваренных таким методом, не наблюдалось повреждений даже в самых суровых условиях, то для яхт, строящихся не под наблюдением классификационных обществ, нет оснований применять вдвое больше наплавляемого при сварке металла, как это требуется для сварки угловых швов по правилам Ллойда. Конечно, важно, чтобы угловые сварные соединения были усилены в тех местах, где возникает концентрация нагрузки, например в районе вант-путенсов, киля, руля и всех концов связей набора. Если у конструктора нет опыта по определению размеров сварных соединений, он должен полагаться на предписания классификационного общества даже в том случае, когда яхту

не надо классифицировать. В интересах безопасности стоит примириться с более высокими затратами и более продолжительными сварочными работами.

Во избежание больших деформаций при сварке, особенно без защитного газа, рекомендуется применять ряд простых мер. Все листы обшивки, к которым приваривают большое число профилей, претерпевают особенно сильное сжатие от нагрева при сварке. Вмятина на этом листе и на его кромках неизбежна, если края выреза обшивки предварительно не подготовлены. Подготовка состоит в том, что с помощью молотка листу придают легкое продольное растяжение и волнистую форму. При сварке лист становится гладким вновь вследствие усадки металла при остывании, благодаря чему снимаются напряжения в соседнем листе обшивки.

Сказанное справедливо и для непрерывных сварных швов палубного настила с граничащими листами наружной обшивки. Если шов, расположенный снаружи, непрерывный, минимального калибра, а с нижней стороны применен прерывистый шов, то появляются напряжения сжатия, которые тянут немного вверх корпус в оконечностях и могут вызвать большие вмятины в плоских местах наружной обшивки. Чтобы воспрепятствовать этому, при гибке листов ширстрека надо стремиться придать верхней кромке небольшой избыток по ее длине. У яхт-шарпи, листы обшивки на которых разворачиваются на плоскость, целесообразно придавать верхнему краю ширстрека небольшое предварительное растяжение молотком, что обеспечивает необходимый припуск для усадки металла при сварке.

*Рихтовка обшивки* является заключительной производственной операцией перед установкой в корпусе оборудования и требует от исполнителей особого умения.

Рихтовка металлических листов обшивки неизбежна, если сварку вели по инструкциям определенных классификационных обществ или не выдерживали правильную последовательность сварки. Но даже при качественном выполнении всех работ в сварных листах обшивки корпуса и надстройки могут появляться вмятины, которые обнаружить на глаз на матовой поверхности пассивированной стали или

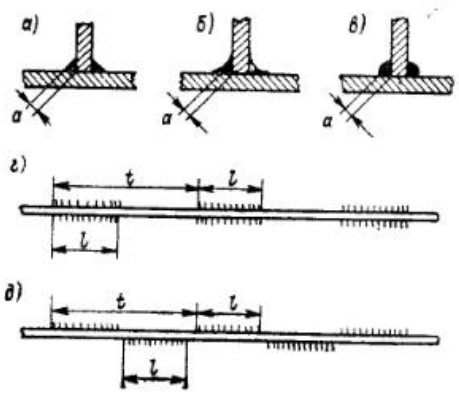



Рис. 89. Элементы угловых швов: *а* — нормальный шов; *б* — вогнутый; *в* — выпуклый; *г* — прерывистый; *д* — шахматный.



матовом алюминии очень трудно. Для контроля необходимо прикладывать к листу соответствующие шаблоны (лекала) длиной 2—3 м. Однако условием для такой проверки является полное окончание всех работ по сварке и отжигу на корпусе и надстройке. При контроле надо помнить о том, что площадь вмятины более опасна, чем ее глубина. Вмятина глубиной 3 мм и диаметром около 100 мм может быть легко зашпаклевана. При такой же глубине, но диаметре около 400 мм это будет намного труднее и, кроме того, сомнительно по качеству.

Правка (рихтовка) означает деформацию материала выше предела текучести в месте остаточной деформации. Вмятина, внутри она или снаружи,— это в основном продольное растяжение материала. При правке листов в холодном состоянии может случиться, что вмятина, находящаяся снаружи, подобно мембране окажется внутри корпуса на такой же глубине и таких же размеров. Однако вероятнее всего, что при холодной правке металл получит растяжение рядом, где возникнут новые вмятины.

При сильном нагреве одной стороны листа металл в месте нагрева деформируется. Этот принцип и лежит в основе выправления вмятин. Но если листы обшивки уже были деформированы вследствие нагрева, то правка затрудняется. Вновь появившиеся деформации могут вызвать прежние и привести к дополнительным напряжениям.

В крупном судостроении правка больших плоских поверхностей наружной обшивки производится почти исключительно с нагревом. Вмятины вызываются большими деформациями от сварки угловым сварным швом шпангоутов с наружной обшивкой. Поверхности обшивки между шпангоутами или ребрами жесткости при сварке вминаются внутрь, так что корпус производит впечатление изголодавшейся лошади, у которой выпирают ребра. Подобные вмятины можно выправить только нагревом с помощью пламени газовой горелки в районе шпангоутов со стороны выпуклости листа.

При постройке яхт сварные швы имеют меньшие калибр и протяженность, чем в регламентированном классификационными правилами крупном судостроении. Если пользоваться рекомендациями, приведенными в этой книге в отношении сварки и ее последовательности, то дело может ограничиться правкой некоторых мест. Самый эффективный и широко применяемый метод правки — сжатие листа под воздействием нагрева в сочетании с механической деформацией.

В листах обшивки вмятины можно править ударами молотка по нагреваемой снаружи обшивке с подложенным под нее широким осадочным молотом. Для устранения местных вмятин, расположенных между шпангоутами в труднодоступных местах изнутри, лист нагревают с помощью пламени горелки. Нагрев

начинают с самой глубокой точки вмятины и проводят горелк медленно по спирали наружу. Этот метод относительно слабо нагрева используют в частности для правки вмятин в обшив из сплавов алюминия (рис. 90, *а*).

При правке местных вмятин в стальной обшивке применя более сильный точечный нагрев. Начиная с середины вмятин вращают пламя горелки по кругу диаметром 50—80 мм, до дят металл до ярко-красного каления и легкой кувалдой ос рожными ударами деформируют лист изнутри. С другой сто роны листа прижимают поддержку из твердой древесины диаметром 150—250 мм и длиной около 500 мм. Лишний материал листа буквально спрессовывают на маленькой площади. Этот процесс повторяют затем во многих точках внутреннего круга и после этого — на далеко расположенных точках внешнего круга до тех пор, пока вмятина полностью не исчезнет (рис. 90, *б*). В медленно охлаждающемся металле работа сама собой доводится до конца благодаря сокращению размеров при охлаждении. Подобный метод можно применять, но разумно, и для правки местных вмятин изнутри.

При сильных вмятинах нельзя избежать одного или двух разрезов для снятия напряжения в поле напряженности. Сталь режут газовой горелкой, а алюминий — ручной дисковой пилой или фрезой. После того как вмятина по описанному выше методу выровнена, образуется излишек металла, который необходимо отрезать и заварить разрез как обычный шов в наружной обшивке. Потребуется еще легкая рихтовка, если на обшивку на время сварки приваривали временные ребра жесткости (гребенки) поперек сварного шва, необходимые для того чтобы шов не встал «домиком» (рис. 90, *в*).

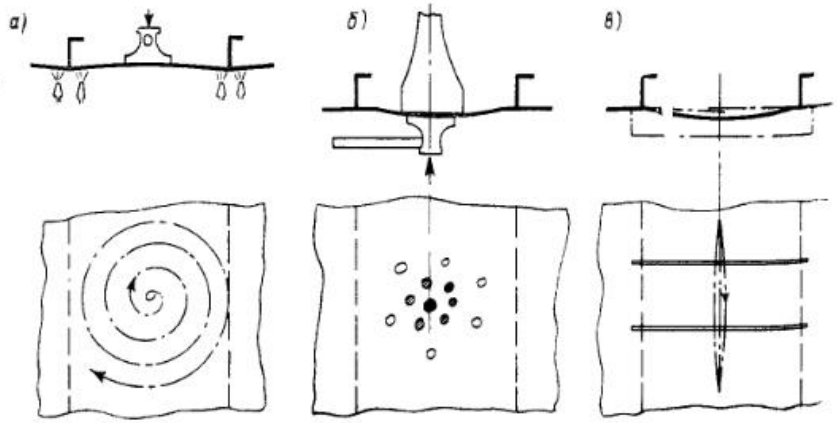



Рис. 90. Ручная правка вмятин в сварных листах обшивки.



Алюминиевые конструкции, которые создаются, как правило, на высококвалифицированных верфях, обычно не нуждаются в большой правке. Несмотря на специальную сварку шахматным швом и соблюдение правильного порядка сварки, все-таки имеет место незначительная ребристость обшивки на шпангоутах вследствие усадки угловых сварных швов. Эти легкие возвышения шлифуют с помощью шлифовального круга.

Зачистка — относительно простой процесс. Шлифование слегка обозначившихся шпангоутов уже относится к этому процессу. Для стальных судов подобная операция нерациональна из-за слишком твердого металла и его малой толщины. Кроме того, при шлифовании разрушился бы пассивирующий слой и его пришлось бы восстанавливать.

На яхтах из алюминия и стали обычно зачищают все сварные швы и кромки. Для этого применяют шлифовальные круги с относительно грубым наждаком, а для предварительных работ и в затесненных местах — зубило. Особенно важно, чтобы все острые кромки на металле были скруглены. На острых краях не держится ни грунтовка, ни защитная, ни окончательная окраска. Минимальный радиус всех кромок металла допустим 2 мм, лучше 3 мм и более. Обработка кромок хотя и трудоемкое, но необходимое дело, если желают строить качественные яхты. Скругление выполняют обычно обдирочным наждачным кругом.

## 4.5. ПОСТРОЙКА КОРПУСА С ПОПЕРЕЧНЫМ НАБОРОМ

Изготовление корпуса с поперечным набором — классический метод судостроения — и сегодня еще широко применяется при постройке яхт из металла. Это объясняется отчасти тем, что корпус судна проще всего можно выразить в очертаниях его поперечных сечений. Кроме того, раму поперечного шпангоута, относительно небольшую и законченную деталь, легко изготовить заранее. Днищевые флоры и кницы, вырезанные по соответствующим шаблонам или на автоматической газорезательной машине, укладывают на «черный плаз» — проекцию «корпус» теоретического чертежа в масштабе 1 : 1, разбитому на листе металла, и приваривают к уже согнутым шпангоутам и палубным бимсам. В зависимости от того, замкнуты ли рамы шпангоута или открыты сверху для надстройки или кокпита, укрепляют временные распорки из угольников так, чтобы они по возможности не были помехой при дальнейших работах. После этого прихваченные электросваркой рамы шпангоутов снимают с плаза и все соединения сваривают с двух сторон. На всех рамах шпангоутов должны быть нанесены белой маркировочной краской номера

шпангоутов для удобства их примерки при сборке корпуса на стапеле.

Изменение направления полок профилей шпангоутов происходит обычно на мидель-шпангоуте в самом широком месте корпуса. В настоящее время применяют в основном несимметричные прокатные профили и речь идет об изменении направления свободных полок профилей. Их разворачивают в носовой части корпуса назад, а в кормовой — вперед для удобства выполнения сварки профиля с обшивкой, консервации и малярных работ.

Теоретическая плоскость шпангоута, соответствующая его контуру на теоретическом чертеже, лежит у несимметричных профилей в носовой части корпуса на передней кромке профиля, а в кормовой — на задней кромке профиля (рис. 91).

При использовании соединений шпангоутов с днищевыми флорами внахлест, особенно необходимых в случае, если рама шпангоута остается открытой и соединяется на стапеле с заранее собранной и установленной здесь секцией днища, фланец днищевого флора должен быть развернут чаще всего в направлении, противоположном фланцу шпангоута. При сборке на плазе этот фланец мешает, поэтому там, где можно, фланец флора стараются делать развернутым в том же направлении, что и полка шпангоута.

*Продольные связи* в корпусе яхт малых и средних размеров, кроме киля, ширстрека, палубного бимса и местных усилений, таких, как носовой стрингер и подпалубные связи, встречаются

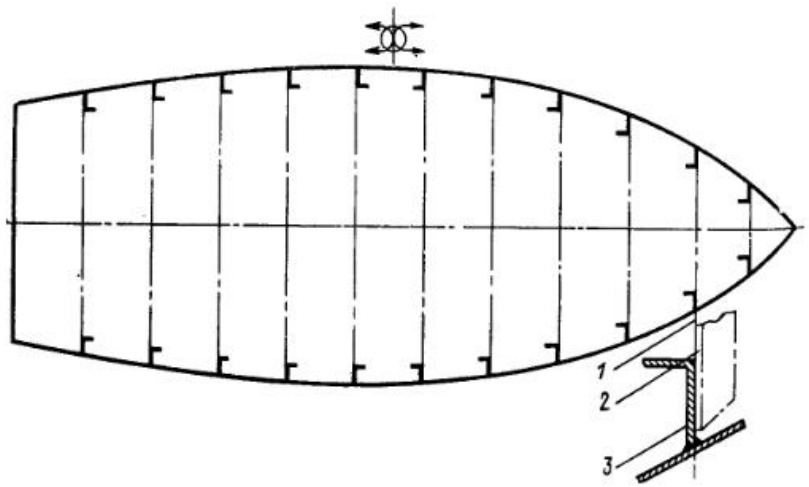



Рис. 91. Теоретические линии и направление полок шпангоутов в металлическом корпусе.
*1* — теоретическая линия шпангоута; *2* — флор; *3* — шпангоут.



редко. В корпусах больших яхт, наоборот, имеется несколько днищевых связей. Важнейшие из них — продольные балки фундамента под двигатели. Чаще всего их делают непрерывными, так что днищевые флоры в этом месте разрезные и соединяются перекрестным швом с продольными балками. Другие связи, которые предусмотрены на высоте днищевых флоров, интеркостельные, т. е. они вставляются отдельными частями — брактами между установленными ранее флорами и свариваются с ними. Такие интеркостельные связи вырезают по шаблонам с плаза из листового металла или, если речь идет о стрингере на высоте шпангоута, сгибают по развертке из профилей.

Непрерывные продольные связи, такие, как продольные переборки днищевых цистерн, фундаменты под двигатели и киль, также изготовляют заранее по шаблонам с плаза. На ряде верфей стрингеры и днищевые связи предпочитают подгонять позже на уже собранном корпусе.

*Поперечные переборки* также вырезают по шаблонам с плаза и согласно чертежу делают в них соответствующие вырезы. Аналогично вырезают ребра и подкрепления переборки и приваривают к ее полотну, лежащему на сборочной плите. Цистерны, находятся ли они в днище или на бортах, образуют секцию, которую как часть днища снабжают наружной обшивкой. Такие днищевые отсеки обыкновенно строят килем вверх на соответствующем стапеле и обшивают наружной обшивкой. После переворачивания отсека монтируют подготовленную заранее платформу с набором.

На больших яхтах фундаменты для двигателей изготовляют в большинстве случаев заранее, так что при постановке на киль, собственно, уже готова половина корпуса яхты.

*Палубы* при постройке яхт средних и больших размеров иногда делают заранее в виде плоских секций. При постройке корпуса килем вверх предварительная сборка палубы необходима с целью создания своеобразного стапеля для дальнейшей постройки корпуса. В таких случаях очертания палубы с помощью рейки переносят на лежащее на сборочном стенде заранее сваренное стальное полотнище. Согнутые палубные бимсы, снабженные соединительными кницами, сваривают сначала в середине палубы с настилом и потом постепенно ведут сварку по направлению к кромкам. Затем, приварив специальные ребра жесткости, чтобы не деформировать палубу при транспортировке, ее доставляют на стапель-постель для сборки корпуса. Палубы делят на секции таких размеров, чтобы их можно было удобно транспортировать имеющимися кранами и вспомогательными средствами.

Если в палубе имеются вырезы большой площади, то целесообразно предварительно изготовить палубные стрингеры и ребра по соответствующим разверткам и шаблонам. Эти

детали используют на стапеле для раскрепления установленных шпангоутов.

*Стапель* обычного вида — это не что иное, как место для сборки корпуса под открытым небом или в цеху. Его основание должно быть достаточно прочным, чтобы выдерживать массу судна. На открытом воздухе это сооружение часто представляет собой укрепленные рельсы с наклоном к воде, по которым спускается готовый корпус на тележках или спусковых полозьях.

При постройке яхт на открытом воздухе почти всегда страдает качество и точность сборки. Корпуса строят в основном из заранее подвергнутой пескоструйной обработке и пассивации листовой стали. Первичное покрытие для лучшей свариваемости металла делается таким тонким, что оно может выстоять на открытом воздухе только несколько месяцев. Кроме того, сварка в среде защитного газа, например, корпусов из алюминия, невозможна на открытом воздухе, потому что колпак из защитного газа уже при малейшем ветре отдувается в сторону. В связи с этим яхты строят в помещениях или под строительными навесами. Основание обычно забетонировано, и часто на нем закреплены транспортные рельсы, которые служат также для установки киля яхты. Киль обычно кладут на стапель, сооруженный из дерева, высоту которого регулируют с помощью плоских клиньев. Временными связями из угольников киль раскрепляют с транспортными рельсами (рис. 92).

При постройке больших яхт, главным образом моторных, заранее изготовленные днищевые отсеки или секции устанавливают на стальные кильблоки или клетки из дерева и выравнивают с помощью шлангового уровня. Такие днищевые отсеки довольно устойчивы под действием собственной массы, и тем не менее во избежание незначительных смещений их раскрепляют диагональными распорками из стальных угольников. Заранее изготовленные рамы шпангоутов после закрепления днищевых отсеков на стапеле устанавливают на свои места на монтажных соединительных элементах с помощью болтов. После выравнивания шпангоутов на стапеле монтажные швы заваривают, а болты удаляют или оставляют в соединениях.

С установкой на стапель шпангоутов и переборок вполне обозначаются обводы корпуса будущей яхты. После закрепления шпангоутов сваркой или на болтах к днищевым секциям предпринимают первое временное выравнивание набора корпуса. В качестве вспомогательных средств служат прочные деревянные рейки или металлические угольники, которые крепят с помощью струбцин к палубным бимсам или к верхним концам шпангоутов. При этом сначала выравнивают по отвесу или уровню водонепроницаемую поперечную переборку и закрепляют ее соответствующими диагональными связями. Все



другие шпангоуты ориентируют по ней (согласно обозначенному в чертежах расстоянию между шпангоутами) с помощью вспомогательных реек, прикладываемых к бортам.

Рихтовка набора в окончательном виде должна быть чрезвычайно тщательной для гарантии плавности обводов корпуса. Работают попеременно с бортов отвесом и контролируют расстояние между шпангоутами. Точно выверенные на стапеле шпангоуты фиксируют затем электроприхватками с помощью металлических угольников в районе верхней кромки наружной обшивки и в районе скулы. Следующими устанавливают и фиксируют на месте бортовые участки палубы — ватервейсы. После этого вспомогательные угольники можно убрать, чтобы освободить место для монтажа ширстрека.

После того как ширстрек сварен на стыках и выправлен и выполнена приварка к листам поперечного набора, можно удалить раскрепляющие угольники в районе скулы и начинать установку обшивки, если листы ее заранее вырезаны и согнуты. В большинстве случаев монтаж обшивки на средних и больших яхтах ведут сверху вниз и снизу вверх. Необходимо крепить одновременно противоположные листы наружной

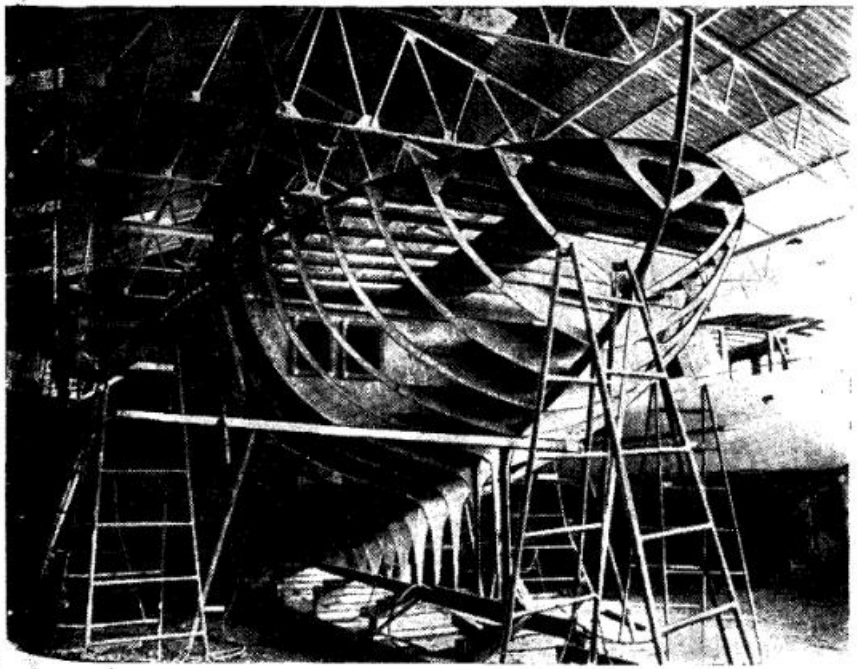


Рис. 92. Установка яхты на стапеле с килевой балкой обычного вида производится с помощью стапельных колодок и плоских клиньев.

обшивки на обоих бортах яхты во избежание значительных несимметричных напряжений в наборе корпуса.

Параллельно с работами по обшивке идет установка в корпусе подготовленных ранее узлов палубы и различных мелких деталей. Если наружная обшивка в районе моторного отсека закончена, можно монтировать и крепить в этом отсеке уже заготовленные фундаменты под двигатель и вспомогательное оборудование. Сварку лучше всего производить после завершения обшивки всего корпуса, монтажа палубы и надстройки.

Нередко, несмотря на строго соблюдаемую последовательность сварки, в обшивке появляются вмятины из-за термических напряжений, которые следует выправить. Кроме того, нужно закруглить острые кромки листов и сварных соединений, так как иначе на них не удержится никакое защитное покрытие.

На некоторых крупных верфях на этой стадии постройки корпуса производят первый спуск судна со стапеля для проверки его водонепроницаемости, после чего его снова поднимают по слипу в цех для достройки. Через несколько месяцев судно вторично спускают на воду, но уже полностью оборудованным и оснащенным. После короткого испытания двигателя на швартовах и обычных испытаний парусного вооружения и оборудования дается разрешение на первые выходы яхты в море. Нередко объем работ, которые верфь выполняет за время между постройкой корпуса и этими испытаниями, значительно превышает объем работ по постройке корпуса, но эти труды часто недооцениваются судостроителями-любителями.

### 4.5.1. Постройка корпуса килем вверх

Метод постройки корпуса в положении «килем вверх» представляет собой разновидность сборки корпуса на поперечном наборе и пригоден только для яхт небольших размерений. Работы по обшивке при этом упрощаются, но способ этот может быть применен только для яхт, не имеющих обширной системы днищевых связей в виде мощных фундаментов для двигателей и встроенных цистерн. Небольшие цистерны устанавливают дополнительно.

Шпангоуты изготовляют, как это уже было описано, а собранные заранее секции палубы укладывают на подготовленную сборочную постель набором вверх. Шпангоуты, у которых при предварительной сборке не было бимсов, снабжают временными поперечными распорками. К палубе их крепят на монтажных болтах или сваривают с кницами. Выравнивание шпангоутов производится, как уже было описано, с помощью вспомогательных реек или угольников и струбцин либо с применением точечной сварки (электроприхваток). После того как



заготовки киля уложат в вырезы флоров и сварят с ними, подгоняют интеркостельные продольные связи между шпангоутами и приваривают их. В местах прохода таких продольных связей или стрингеров раскрепляющие угольники можно убрать.

Обшивку целесообразно начинать с ширстрека, прилегающего к палубе, и одновременно с килевого пояса. Это позволяет вести работы сразу несколькими бригадами. Подгонка последнего пояса, так называемого забойного, хотя и требует некоторой точности работ, но для опытного судостроителя не представляет никаких затруднений. Точно подогнанный пояс обшивки, после того как изнутри подготовлена V-образная разделка под сварной шов, прижимают с помощью прикрепленных вспомогательных колодок и клиньев к шпангоутам. Последовательность сварки обычная: сначала заваривают стыки, потом полностью продольный шов и наконец заключительный шов. Точечную сварку (прихватку), заварку внутренних швов, обработку корня шва снаружи и затем наружный сварной шов выполняют так же, как было рассмотрено выше (рис. 93).

### 4.5.2. Серийная постройка

Серийное производство целесообразно для металлических яхт длиной до 12 м. Такие сравнительно недорогие корпуса с круглоскулыми обводами строит, например, гамбургская верфь «Фельтц». Здесь применяется хорошо продуманная оснастка: кондуктор, на котором сгибают шпангоуты из Т-образных профилей (рис. 94). Применение таких сложных

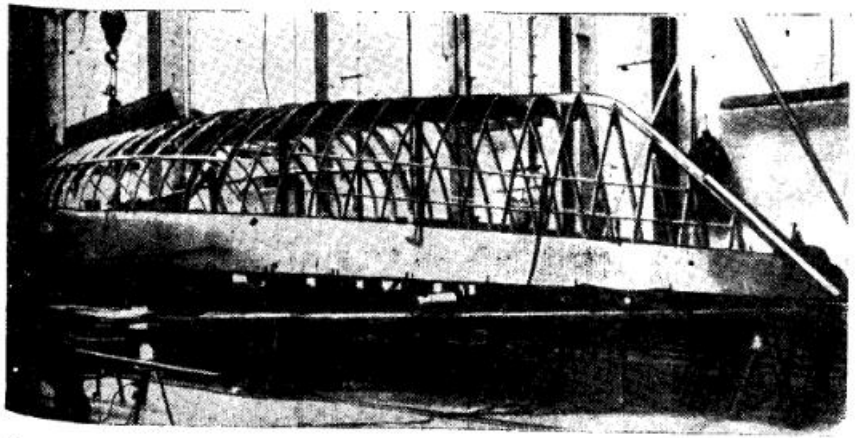


Рис. 93. Сборка корпуса в положении килем вверх на палубе. Обшивать корпус начинают с ширстрека.

устройств оправдывается только в том случае, если с их помощью строят несколько десятков корпусов.

При изготовлении корпуса тавровые профили шпангоутов вставляют в специальные крепления и изгибают по обводу поперечного лекала. Монтаж обшивки ведут обычным способом. Сварку стыков и швов производят в том же порядке, как и при обычном методе постройки на поперечном наборе, но швы заваривают снаружи с V-образной разделкой кромок. Только после снятия корпуса с кондуктора можно выполнять сварку с внутренней стороны, так как до этого момента к обшивке изнутри подобраться практически невозможно.

Флоры, подкрепления и палубу с палубными бимсами монтируют только после того, как корпус раскантуют в нормальное положение вниз килем.

*Самостоятельная постройка* металлических корпусов яхт с круглоскулыми обводами на поперечном наборе проблематична. Основные трудности заключаются в изготовлении листов обшивки двоякой кривизны и их предварительной развертке. Тем не менее есть любители, которые построили стальные яхты на

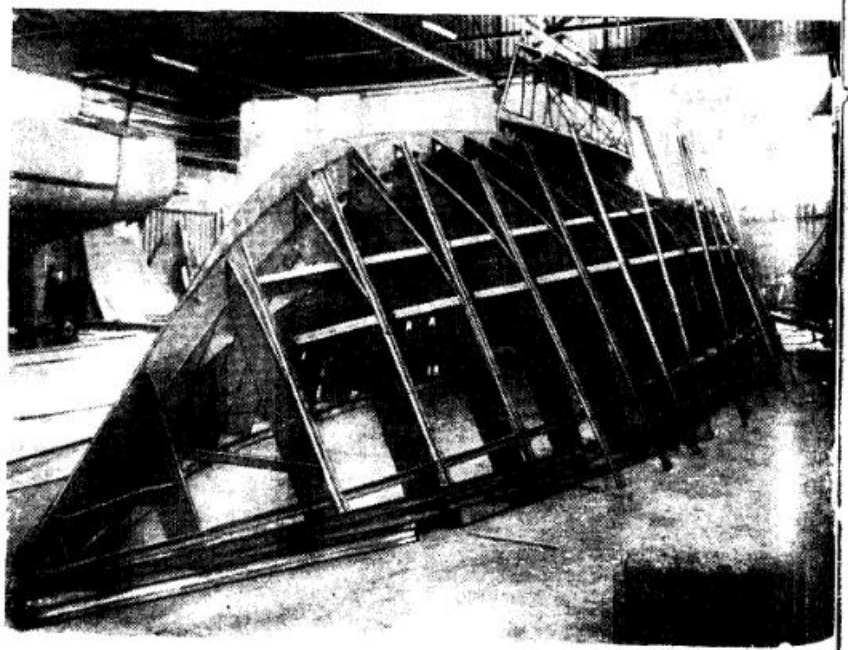


Рис. 94. Гамбургская верфь «Фельтц» строит серийные корпуса из стали, используя относительно недорогое приспособление. Благодаря гибке поперечных шпангоутов на месте, не требуется заранее изготовлять шпангоутные рамы.

круглых шпангоутах самостоятельно и по праву гордятся своим успехом.

В большинстве случаев любители строят суда обычными методами на стапеле, причем киль или пластину киля сразу устанавливают как часть стапеля. Из участвующих в постройке никто, как правило, не является судостроителем, но почти всегда они имеют техническое образование, умелые руки, отличаются упорством и выдержкой.

Однако любителей без достаточного опыта надо предостеречь от самостоятельной постройки металлического корпуса с круглоскулыми обводами. В последнее время для этих целей разработаны проекты яхт с двойной скулой. Правильно сконструированные специалистом, они по скорости и мореходным качествам не уступают круглоскулым яхтам, а иногда и превосходят их.

## 4.6. ПОСТРОЙКА КОРПУСА С ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ НАБОРА

Продольную систему набора применяют почти исключительно для быстроходных моторных яхт. Вопреки утверждениям некоторых специалистов нельзя привести точного доказательства того факта, что корпуса с продольной системой набора по сравнению с правильно сконструированными корпусами с поперечной системой дают ощутимую экономию в массе. Это относится прежде всего к яхтам с сильно изогнутой наружной обшивкой, у которых жесткость листов вместе с подкреплением поперечной системой набора достаточна для обеспечения необходимой местной прочности.

Если, однако, большие поверхности наружной обшивки в обоих направлениях близки к плоскости, что обычно наблюдается у быстроходных моторных яхт, то корпуса с продольной системой набора становятся рациональными. Поле наружной обшивки, подкрепленное частой клеткой продольных стрингеров и шпангоутов, меньше подвержено вмятинам, чем удлиненное поле обшивки, ограниченное только двумя шпангоутами. Благодаря применению продольной системы набора для корпусов быстроходных глиссирующих катеров, можно принять меньший запас прочности листов наружной обшивки по отношению к пределу текучести металла, чем это допускается у обычных водоизмещающих судов. Если при очень высоких динамических нагрузках на волнении напряжения в листах наружной обшивки действительно превысят предел текучести, то появится остаточная деформация листов. Однако опасность образования трещин, особенно в стальной обшивке, в большинстве случаев еще довольно далека, хотя появившиеся вмятины заметны. Они выделялись бы намного больше при поперечной системе набора и привели бы к значительному увеличению сопротивления

воды движению катера в отличие от вмятин, места сгибов которых ориентированы больше в продольном, чем в поперечном направлении.

Таким образом, понятно, почему продольную систему набора применяют в основном для быстроходных катеров. При проектировании конструкции последних принимают более низкие коэффициенты запаса прочности, чтобы получить желаемую экономию в массе.

Корпуса с продольной системой набора обычно строят в нормальном положении на стапеле. Из металла изготовляют, как правило, катера больших размерений, которые нерентабельно строить из пластмасс. Корпуса таких катеров имеют большое количество днищевых связей, фундаментов и цистерн. В этом случае удобно осуществлять предварительную сборку узлов в днищевые секции и эти заранее собранные секции монтировать на стапеле. Часто отдельные основные шпангоутные рамы собирают вместе с днищевыми секциями. При дальнейшей установке рамных шпангоутов они служат контрольными точками для выравнивания всего набора.

Рамные шпангоуты при продольной системе набора не гнут, как обычные шпангоуты из профилей, а сваривают из отдельных частей, вырезанных из листовой стали с привариваемым пояском из полосы (рис. 95). Разметку отдельных частей шпангоута производят по обычным деревянным шаблонам или с помощью автоматической газовой горелки. Сборку частей и гибку сплошного плоского профиля выполняют по теоретическому чертежу на плазе.

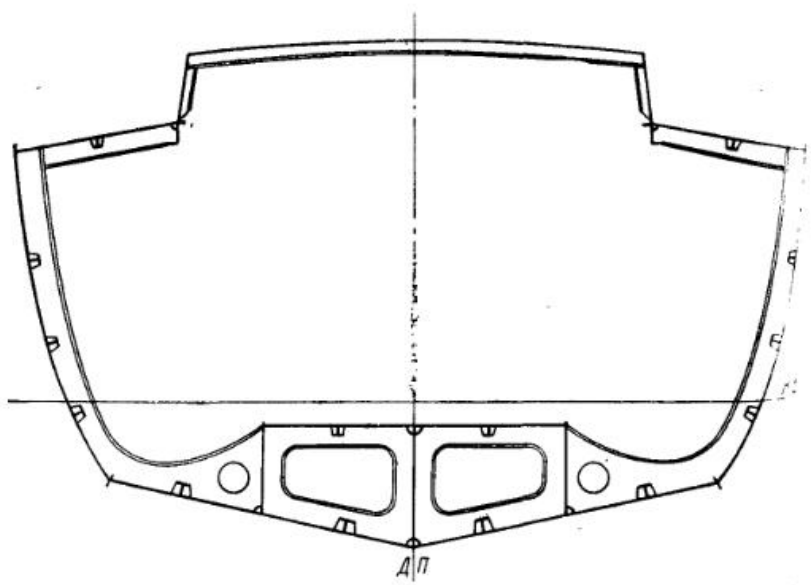



Рис. 95 Конструктивный «мидель-шпангоут» моторной яхты с продольной системой набора.



Сплошные и интеркостельные продольные связи, поперечные переборки и подобные соединительные детали вырезают также по соответствующим шаблонам с плаза. Балки фундаментов для двигателей, выгородки днищевых цистерн и прочих днищевых объемных конструкций, как и при постройке корпуса с поперечной системой набора, собирают обычно на соответствующих устройствах в положении килем вверх.

После установки днищевых секций собранные заранее в отдельные узлы рамные шпангоуты закрепляют на стапеле, выравнивают и затем сваривают. На ряде верфей, работающих по прогрессивной технологии, заготовленные узлы рамных шпангоутов собирают в бортовые секции, в которых можно сваривать все швы. Сборку палубы выполняют на бетонном полу или плоском металлическом стенде, если палуба не имеет седловатости, а только небольшую погибь бимсов.

Установку и рихтовку рамных шпангоутов выполняют с чрезвычайной тщательностью, так как свободные концы рамных шпангоутов при монтаже бортовой секции на днищевые секции должны точно совпадать с положением днищевых флоров.

Разработать технологический метод сборки корпуса из небольших секций — первоочередная задача высокоспециализированных верфей по постройке яхт. Часто здесь осуществляют сборку целых поперечных отсеков — блоков в несколько метров длиной, как это принято в крупном судостроении.

*Продольные стрингеры* состоят обычно из угольников или Т-образных профилей. Их укладывают в подготовленные заранее вырезы рамных шпангоутов, крепят струбцинами и затем по верхнему фланцу сваривают с полками рамных шпангоутов. В плоских днищевых и бортовых секциях стрингеры удается уложить без затруднений. Только в районе носовой оконечности стрингеры необходимо подвергать гибке, в процессе которой напряжения в материале становятся выше предела текучести. Чаще всего стрингер можно изогнуть непосредственно по шпангоутам после предварительного нагрева внутреннего фланца профиля. Если требуется более значительная гибка, то неизбежно применение шаблонов, снятых с соответствующих разверток или с борта, и использование специального оборудования. Все другие процессы, такие, как обшивка, сварка и судостроительные доделочные работы, ведут так, как это было описано выше.

## 4.7. УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЙКИ

Упрощенные методы постройки применяют с целью удешевления серийного строительства, а также в случае самостоятельной постройки металлических яхт. Однако пути

использования этих методов для названных областей принципиально различны.

В серийном производстве первостепенное значение имеют приемы постройки, позволяющие до минимума снизить трудоемкость, чтобы выдержать стоимость готовой яхты вблизи реального минимума.

Для любителя неважно, сколько рабочих часов уйдет на постройку. На первом плане стоит непременная надежность конструкции и по возможности самая простая технология постройки.

Если при серийной постройке главной целью является создание дешевого корпуса, то в конструкции следует стремиться сократить число и протяженность сварных соединений, выполнение которых требует больших затрат времени и значительных расходов. Кроме того, вследствие термических напряжений при сварке могут появиться вмятины, которые необходимо будет править.

Существо упрощенных методов постройки состоит в том, чтобы обходиться по возможности без обычных связей набора корпуса и обеспечивать необходимую жесткость и прочность путем применения гнутой наружной обшивки. Чтобы снизить расходы на постройку, чаще всего выбирают корпуса с остроскулыми обводами с V-образными шпангоутами. При этом на первое место выступает технологичность постройки, а не достижение необходимых мореходных качеств. Обводы подводной части корпуса, получающиеся на основе таких принципов конструирования, не позволяют достигнуть сколько-нибудь высоких скоростей движения судна на волнении.

Исключением являются корпуса *яхт с двойной скулой*, которые появились в результате интенсивных исследований и обмера корпусов гоночных яхт по правилам IOR. Варианты корпусов яхт с двойной скулой были разработаны автором этой книги для любителей-судостроителей и мелких верфей, поставляющих готовые металлические корпуса для самостоятельной достройки. Здесь не требуется никакой гибки шпангоутов, никаких сложных гибочных работ для листов наружной обшивки и работы на плазе со сложными развертками. Любой любитель, знакомый с основными приемами ручных сборочных работ, сумеет построить высококачественную яхту с такими обводами самостоятельно.

Проекты яхт с двойной скулой, разработанные специально для любительской постройки, гарантируют надежность, прочность, безопасность и долговечность конструкции. При правильно выполненном проекте кроме благоприятного поведения на волне эти суда могут обладать отличными качествами в открытом море и развивать достаточно высокие скорости, что доказано опытом эксплуатации подобных яхт во всем мире. Преимущества яхт с двойной скулой признал и самый опытный конструктор в Европе Ван де Штадт, который разработал для серийной постройки несколько проектов подобных яхт, ставших известными благодаря своим хорошим мореходным качествам.

В принципе конструкция яхт с двойной скулой мало чем отличается от устройства других судов с поперечной системой набора. Разница только в том, что вместо обычных часто расположенных шпангоутов здесь каждый второй шпангоут выполняют в виде рамы. Между ними после завершения обшивки и сварки корпуса вваривают легкие промежуточные шпангоуты, которые обеспечивают местную жесткость (рис. 96). Преимущества этой системы заключаются не только в необходимости изготовления половины шпангоутных рам, но и в больших допусках точности для рихтовки установленных на стапеле шпангоутов. Маленькая ошибка, допущенная при установке на стапель, естественно, меньше скажется на плавности скулы, если расстояние между двумя шпангоутами в два раза больше.

В качестве *плаза* используют фанерные листы толщиной 10—12 мм или листы металла любой толщины достаточных размеров для разметки самой большой шпангоутной рамы. Рабочую поверхность листов покрывают матовой краской, чтобы на ней были хорошо видны жесткие штрихи карандаша. Затем на плаз с большой точностью наносят линии ДП и КВЛ яхты. От этих вспомогательных линий строго перпендикулярно к ним с точностью до миллиметра наносят размеры шпангоутов по высоте и полуширотe из таблицы ординат теоретического чертежа.

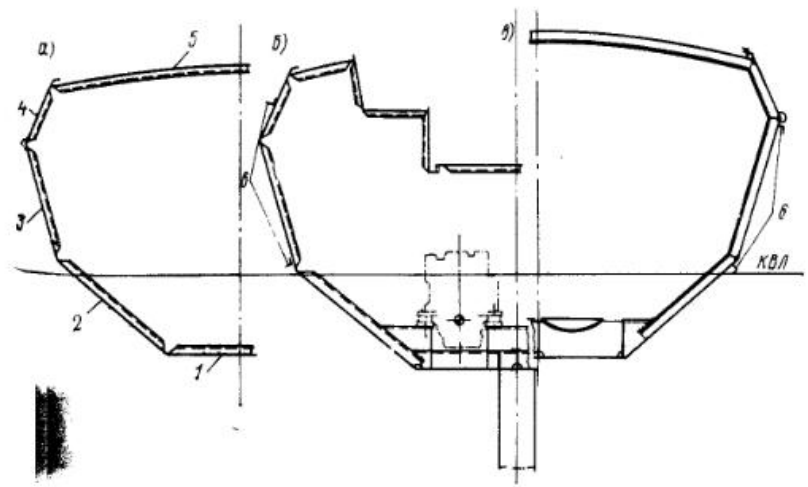



Рис. 96. «Мидель-шпангоут» яхты «Гидра» упрощенной конструкции: *а* — промежуточный шпангоут; *б* — сечение по кокпиту; *в* — рамный шпангоут. *1* — днищевой лист обшивки; *2* — скуловой пояс; *3* — ширстрек (бортовой пояс); *4* — комингс бака; *5* — палуба; *6* — монтажные ребра жесткости из угольника.

Все точки, соответствующие линиям скул и борта для данного шпангоута, соединяют затем тонкими прямыми линиями мягким карандашом. На одном плазовом листе вычерчивают все шпангоуты носовой части, а на другом — все шпангоуты кормовой части на оба борта от ДП (хотя на проекции «корпус» на теоретическом чертеже показывают только одну половину судна).

Когда все шпангоуты начерчены, можно проверить, не сделана ли ошибка при переносе размеров с чертежа, так как любая неверная точка четко выделяется из всей системы шпангоутов. Соединив точки скулы на всех шпангоутах с помощью гибкой рейки, строитель должен получить плавную линию, на которой располагаются все точки (рис. 97). Построение обвода шпангоута завершается вычерчиванием погиби палубы через две точки, ограничивающие шпангоут по ширине, и через точку высоты погиби бимса в ДП. Кривая представляет собой фактически дугу окружности и провести ее можно с помощью длинной тонкой стальной проволоки с привязанным карандашом или очень длинной плоской деревянной рейки. Однако чаще используют другой метод (рис. 98). Проводят четверть окружности радиусом, равным высоте погиби бимса. Дугу окружности и ее основание делят на четыре равные части. Точки основания соединяют с точками окружности и полученные отрезки ($aa'$, $bb'$ и т. д.) откладывают перпендикулярно в соответствующих местах на половине ширины палубы, также разделенной на четыре равные части. То же делают для другой половины палубы от ДП. Полученные девять точек кривой кромки бимса затем соединяют плавной линией с помощью гибкой рейки. Полученную таким образом погибь бимсов переносят потом на доску толщиной 16—18 мм и тщательно обстругивают лекальную кромку, чтобы использовать ее в качестве лекала-шаблона. С помощью этого шаблона, на котором должна быть нанесена ДП судна, соединяют затем верхние точки шпангоутов, вычерченных ранее на плазе, и проводят карандашом погибь палубы.

Следующими размечают по конструктивному чертежу днищевые флоры и другие поперечные связи в составе шпангоутных рам, например набор кокпита.

Теоретический обвод килевой линии вычерчивают на отдельных узких листах фанеры или металла. Перпендикулярно к КВЛ прочерчивают линии шпангоутов и переносят на них ординаты осадки на каждом шпангоуте теоретического чертежа (рис. 99). По этим точкам необходимо провести плавный контур днища на виде сбоку, чтобы получить истинное расстояние между шпангоутами при установке их на днищевой лист. Кроме того, по этой частичной разбивке теоретического чертежа изготовляют все интеркостельные продольные связи, т. е. установленные в виде бракет между днищевыми флорами. Для определения их точных размеров и конфигурации нужно начертить на плазе любую продольную связь, не забыв уменьшить ее длину на толщину днищевого флора плюс 1 мм. Затем переносят очертания отдельных бракет стрингеров с помощью кальки на листы металла. Этот же метод применяется и для разметки деталей форштевня, кормового ребра жесткости и продольных связей в цистернах.

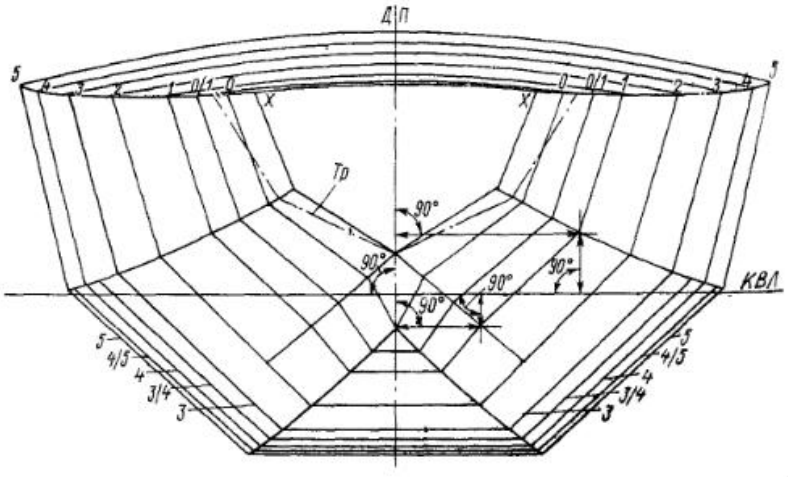



Рис. 97. Плазовый чертеж шпангоутов кормовой части 10-метровой яхты «Таранга» с упрощенными обводами.

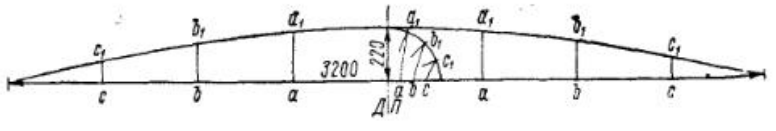



Рис. 98. Построение погиби бимсов.

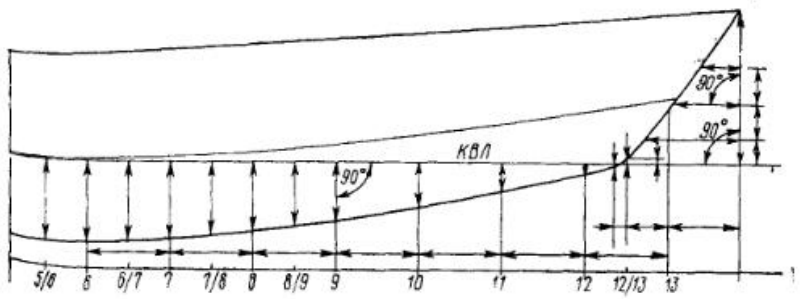



Рис. 99. Теоретический чертеж контура днища (проекция «бок») носовой части яхты «Таранга».

Плоский профиль форштевня и продольное ребро жесткости в ДП в корме сплошные и их пропускают в вырезы днищевых флоров, у стрингеров в цистернах это совершенно необязательно. Чтобы не прерывать шпангоутные рамы и тем самым облегчить сборку набора, продольные стенки цистерны можно сварить интеркостельно между днищевыми флорами, после того как весь набор будет стоять на стапеле.

Сборка шпангоутов — работа, которая должна выполняться с особой тщательностью. При самостоятельной постройке яхты все подготовительные работы, о которых рассказано, можно выполнить в любом подвальном помещении, даже сборку шпангоутов для такой яхты, как «Таранга» длиной 10 м. Небольшой сарай с соответствующим дверным проемом также вполне подходящее помещение для таких работ.

Стоимость профильного материала для изготовления стальных шпангоутов относительно невысока. Изготовление шпангоутов по этому методу постройки не связано ни с какими особенными трудностями. После того как контуры днищевых флоров с помощью кальки перенесены с плаза на листы металла, их вырезают электрическими пилами или ножницами. Если можно отогнуть верхний фланец у флоров на станке для строгания кромок металлических листов, то ширину фланца добавляют к контуру флора. Если такой возможности нет, то вместо фланца приваривают соответствующую полосу. Для упрощения сборки днищевых флоров со шпангоутами фланец днищевых флор должен иметь такое же направление относительно плоскости шпангоута, как и фланец шпангоутов и бимсов.

Резать заготовки шпангоутов из профиля и подгонять соединения их друг с другом и палубными бимсами не требует большого ручного труда. Заготовленные детали шпангоута укладывают для сборки на плаз соответственно разметке, при необходимости придавливают тяжестями и сваривают точечной сваркой. Для увеличения жесткости больших шпангоутных рам, например, на яхте «Гидра», целесообразно приварить временно вертикальные стойки из угольника, на которые надо наносить положение ДП для облегчения выравнивания шпангоутов (рис. 100). Если надстройка также стальной конструкции, рационально включить бимсы и стойки комингсов надстройки в шпангоутную раму. Благодаря этому отпадает необходимость в приварке временных поперечных угольников, замыкающих раму сверху.

При изготовлении переборки сначала сваривают полотнище с соответствующими допусками по кромкам, располагая отдельные листы на гладком цементном полу с установкой временного ребра жесткости. При необходимости полотнище рихтуют, тщательно переносят на него контур переборки и обрезают ее в чистый размер. После того как приварены предусмотренные чертежом ребра жесткости и укреплены необходимые временные поперечные жесткости, можно зачистить места сварки и тотчас же покрыть их пассивирующим покрытием.

*Киль* яхты представляет собой коробку обтекаемого профиля, сваренную из стальных листов и заполненную свинцом. Его можно изготовлять одновременно с корпусом. В конструкции яхты «Таранга» предусмотрено крепление киля болтами, проходящими через специальные стальные колодки, прочно приваренные к днищевым флорам. Такая конструкция (рис. 101, *а*) имеет свои преимущества при транспортировке и сборке корпуса яхты в низких сараях. Но поскольку необходимы определенное умение и навык, чтобы изогнуть толстую плиту по контуру днища яхты (это возможно только при использовании нагрева и действии механического давления одновременно), то часто предпочитают вариант прочно приваренного киля (рис. 101, *б*). С целью упрощения постройки профиль поперечных сечений киля одинаков по всей его высоте. Следовательно, нужно только нанести контур по данным размерам и перенести на днищевой лист киля. Остальную форму придают ребра жесткости из листовой стали, которые приваривают параллельно на указанных в чертеже расстояниях точно под углом 45° к днищевому листу киля. Переднюю кромку киля образует круглый стальной пруток, сзади предусмотрена заостренная кромка.

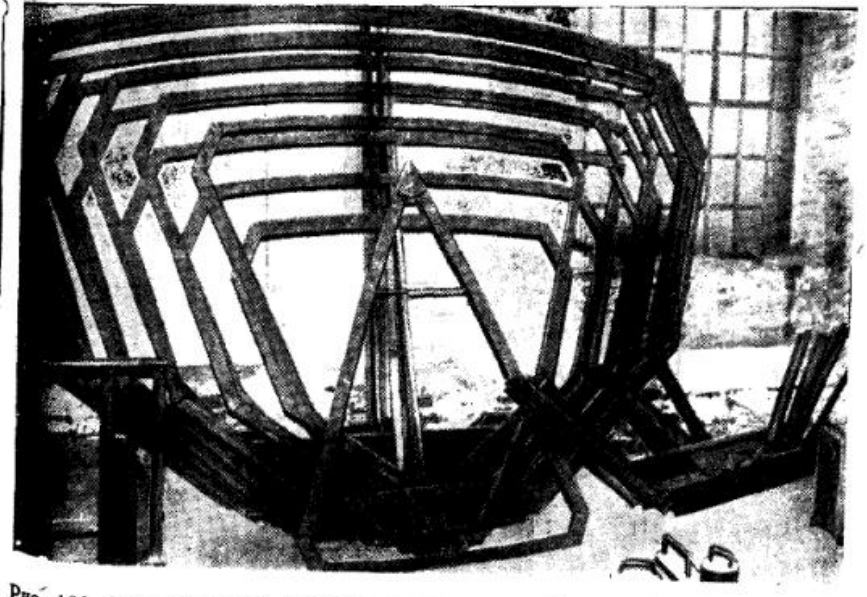


Рис. 100. Готовый набор шпангоутов для яхты «Гидра». Не хватает только вырезов для сварных швов в углах рам. На готовых рамах шпангоутов эти вырезы обрабатывают круглым напильником.

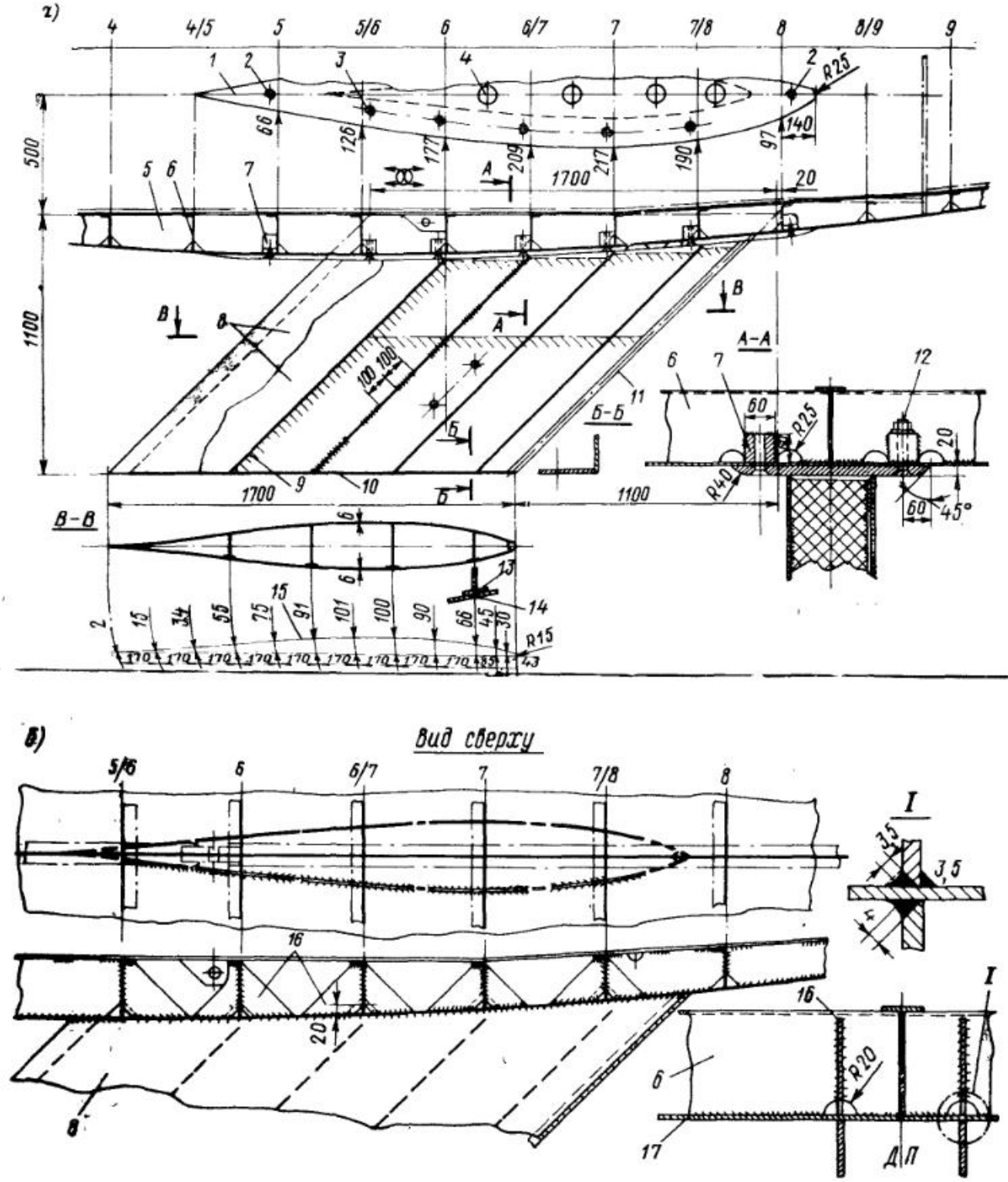



Рис. 101 Сварной киль яхты „Таранга": *а* — вариант крепления к днищу на болтах; *б* — вариант крепления с помощью сварки.

*1* — фланец, δ=20; *2* — отверстие с резьбой М16; *3* — отверстие М20; *4* — отверстие для заливки свинца (после заливки вварить крышку, δ=6); *5* — киль, δ=5; *6* — флор, δ=5; *7* — бобышка 40×60×60; *8* — обшивка, δ=6; *9* — ребро жесткости, δ=6; *10* — нижний лист, δ=10; *11* — пруток ∅ 30; *12* — болт М20×120 из нержавеющей стали (4 шт.); *13* — полоса 6×30; *14* — прорезь 100×20, шаг 100; *15* — теоретический профиль сечения киля; *16* — кница, δ=5; *17* — лист днища.

После того как один лист обшивки киля согнут по необходимой кривой, ее прихватывают точечной сваркой к набору. Прежде чем приваривать лист «намертво», рекомендуется приварить на электроприхватках 2—3 распорки из угольников ко всем ребрам жесткости на противоположной стороне киля от переднего круглого профиля до кормовой обшивки киля. Это должно предотвратить тенденцию к одностороннему изгибу киля при сварке. Затем гнут второй лист обшивки киля и согласно данным чертежа делают в нем прорези, необходимые для приварки листа к ребрам жесткости. Удалив вспомогательные угольники, надо проверить, не деформировался ли киль при сварке и при необходимости выправить его.

Следует учитывать, что при заварке прорезных швов во втором листе появляется усадка, которая может придать продольный прогиб профилю киля со стрелкой примерно 3—5 мм. Прорезные швы ни в коем случае нельзя заваривать полностью, как это иногда практикуют, а обварив кромки листа, заполнить остающуюся выемку двухкомпонентной шпаклевкой. Если этот лист сделать из двух частей по высоте киля, то можно избежать прорезных швов, так как появляется возможность подобраться к внутренним деталям набора и приварить их нормальным (прерывистым) швом. Недостаток этого метода состоит в том, что заключительный продольный сварной шов не может иметь правильного формирования с внутренней стороны.

Заполнять киль свинцом можно после того как проверено по шаблону плотное прилегание киля к днищу яхты. В противном случае горячий свинец может вызвать некоторое выпячивание обшивки. Чтобы воспрепятствовать этой тенденции и одновременно сохранить свинец как можно дольше жидким, коробку киля нужно закопать в землю и прочно утрамбовать ее. Для заливки почти всегда используют свинцовый лом, стоимость которого составляет 25—30% стоимости нового слитка свинца. Свинец расплавляют в стальном котле соответствующей вместимости, установленном на ровной земле на солидных козлах. Жар создают сжиганием кузнечного угля или мелкого антрацита, обеспечивая поддув пылесосом. Когда свинец расплавится, выбивают коническую стальную пробку из котла, и свинец по желобу из стального листа попадает в закопанный в землю киль. Трубки для этой цели малопригодны, так как при малом диаметре они забиваются свинцом. Необходимо обеспечивать быстрое заполнение киля, чтобы свинец не мог затвердеть и в нем не могли бы образоваться воздушные включения. В зависимости от вместимости котла заполняют металлом один, несколько или сразу все отсеки оболочки киля. Высота, до которой надо заполнять отсеки, обычно указана в рабочих чертежах киля.

От консервации внутреннего пространства киля обычно отказываются. Исходят из того, что киль водонепроницаем и, следовательно, здесь не может быть никакой коррозии и электролиза. Для контроля плотности после сварки с корпусом рекомендуют через временный ниппель довести давление воздуха внутри киля приблизительно до 2 кгс/см². Если при этом покрыть всю поверхность киля мыльным раствором, то появившиеся пузыри укажут на место течи, которое надо тщательно заварить. Для консервации металла в полости киля можно по окончании всех сварочных работ заполнить ее раствором смолы под давлением.

На небольших яхтах киль чаще всего устанавливают после сборки корпуса. У «Гидры», например, рационально устанавливать заполненный свинцом киль одновременно со сборкой корпуса на стапеле. Установку и транспортировку облегчают временно приваренные к килю обушки. С помощью автокрана киль, залитый свинцом, можно поставить на место на стапеле и с помощью клиньев и распорок тщательно выровнять его относительно ДП и по расстоянию до КВЛ.

Стапель строят на надежном грунте или основании. В мягкий грунт утрамбовывают бетонные опоры, на которые можно устанавливать соответствующие опорные балки (рис. 102). Стапель рационально использовать для постройки двух или нескольких яхт строительным сообществом. Этот вид кооперации хорошо себя зарекомендовал.

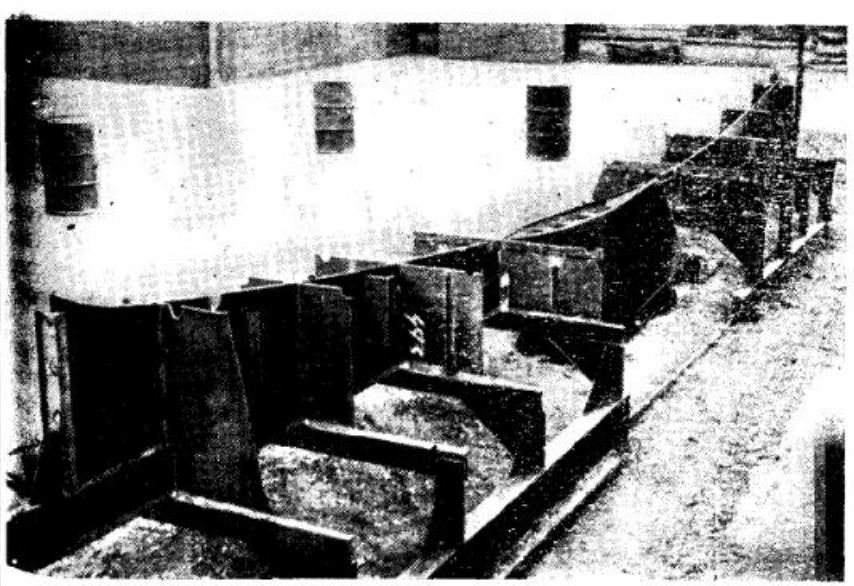


Рис. 102. Для постройки стапеля на неровном полу не обойтись без нескольких бетонных опор. В середине стапеля виден установленный киль, который на своем месте заменяет стапель.

После установки коробки киля на стапеле *днищевой лист* является первой деталью, поступающей на стапель. Его предварительно сваривают в одну деталь или при необходимости устанавливают на место несколькими частями в виде отдельных листов. На листе должны быть нанесены линии ДП и точные расстояния между шпангоутами, взятые с плазовой разметки контура днища. Линии шпангоутов проводят точно под прямым углом к линии ДП, на них откладывают ширину днища согласно размерам на чертеже и обводят контур по лекалу. Эти действия должны быть по возможности очень точными, если детали днищевого листа уже сварены в единое целое и выровнены. Сборка и сварка отдельных листов на стапеле оправдана только в тех случаях, когда ограничены возможности транспортировки тяжелых деталей.

После того как днищевой лист укреплен на стапеле, можно начинать установку переборок и шпангоутных рам. Эта работа — одна из самых интересных даже при упрощенном методе постройки, когда очень важна точность предварительной сборки узлов. Первой устанавливают наиболее прочную и жесткую шпангоутную раму. С обеих сторон флор прихватывают к днищевому листу точечной сваркой. Если в конструкции корпуса предусмотрена поперечная переборка, то первой устанавливают ее и затем с помощью отвеса и одной или двух диагональных связей придают ей строго вертикальное положение (рис. 103).

Эта переборка или шпангоут служит опорой для всех других шпангоутов. На ней крепят сверху вспомогательную рейку, к которой затем временно прикрепляют струбцинами все другие шпангоуты. Сборку ведут затем в тех местах, где диагональная распорка переборки не мешает работам. В процессе сборки в носовой и кормовой частях яхты у строителя может появиться иллюзия, что шпангоуты становятся на лист с наклоном к вертикали. Во избежание этого, особенно при облегченной конструкции стапеля, нужно сделать дополнительные вертикальные подпорки, удерживающие шпангоуты во время сборки. Иногда распорки и рейки временно крепят к шпангоутам с помощью толстой стальной проволоки.

Правильность установки рам на стапеле и их выравнивание нужно проверять тщательно, начиная с переборки. Приходится использовать много вспомогательных связей, прежде чем переборка после неоднократных проверок по отвесу и шланговому уровню встанет строго вертикально, без смещения относительно разметки на днищевом листе. Так поступают с каждым последующим шпангоутом, который раскрепляют жестко с помощью связей из металлических угольников или других профилей, прихватываемых точечной сваркой к первой переборке и ко всем последующим шпангоутным рамам. Важно, чтобы эти профили огибали шпангоуты по обводам корпуса плавно, без сломов. С их помощью проверяют также плавность обводов



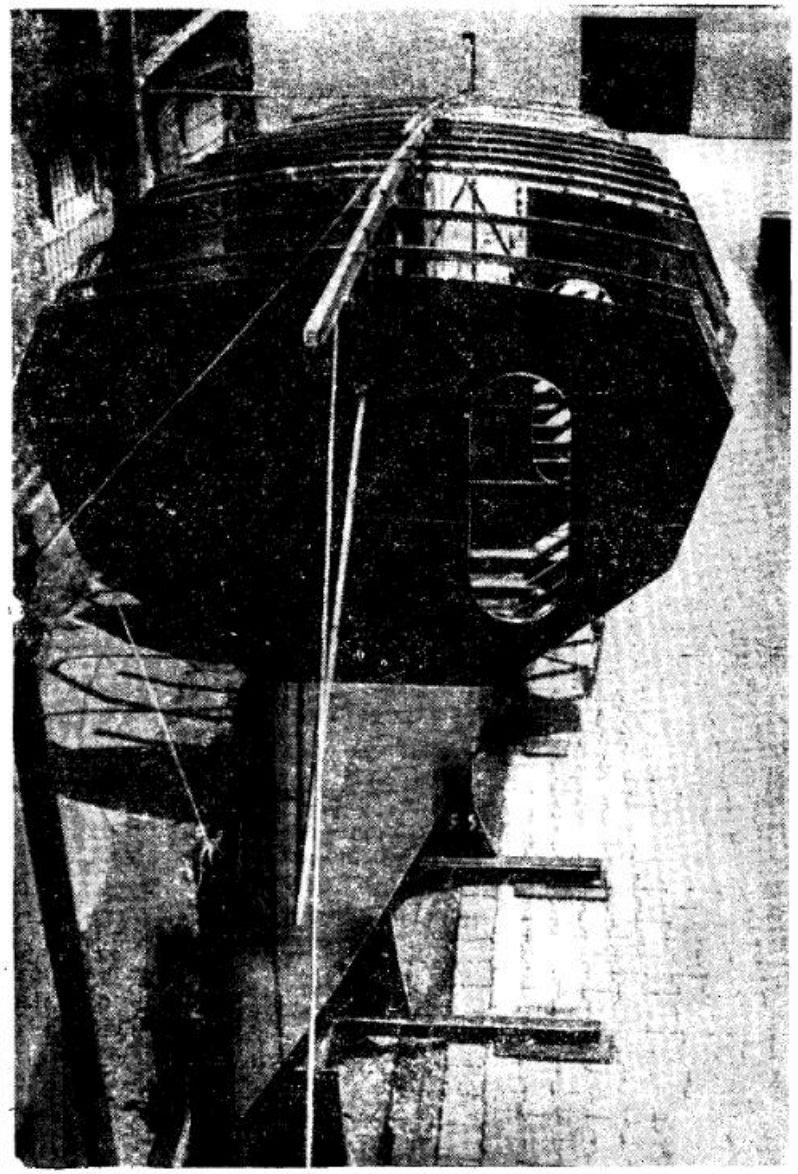


Рис. 103. Монтаж корпуса 14-метровой яхты «Гидра» начинается с установки жесткой переборки. После угловой точечной сварки к днищевому листу переборку выравнивают строго вертикально с помощью отвеса и закрепляют одной-двумя диагональными распорками. Верхняя прочная рейка служит временной опорой, по которой выверяют шпацию для всех других шпангоутных рам и переборок.

корпуса и правильность установки шпангоутов. Обнаруженные дефекты исправляют. Целесообразно располагать на каждом борту по два выверенных профиля. Первый должен находиться примерно на 50 мм ниже линии борта. На яхтах с надстройкой-баком этот угольник укрепляют на половине высоты завальных внутрь бортов надстройки, чтобы его не нужно было снимать при обшивке ширстрека. Вторая связь из угольника должна находиться на борту примерно на 50 мм выше линии скулы. Ее снимают по окончании монтажа скуловых поясьев обшивки. Для этой цели подходят угольники размером 25 × 25 × 2 мм или подобные им.

Монтаж наружной обшивки и настила палубы аналогичен описанному для постройки яхт на поперечном наборе. Существенная разница в том, что в данном случае не нужно предварительно деформировать листы и не требуется делать ни разверток, ни гибочных шаблонов. Первыми устанавливают листы обшивки скулового пояса. Не имеет существенного значения, на каком месте находятся стыки пояса, важно, чтобы они были расположены не ближе 50 мм от шпангоутов.

С тонкими листами обшивки длиной 3—4 м можно справиться без помощи крана. Будущий пояс обшивки вырезают из листа с припуском по кромкам 50—100 мм и затем прижимают к шпангоутам струбцинами и подпорками. Затем изнутри корпуса обводят лист по контуру днищевого пояса твердым карандашом или стальной чертилкой. Одновременно на каждом шпангоуте помечают точку линии верхней скулы и прочерчивают стык листов параллельно шпангоутам. Так как обычно начинают с носового листа, примыкающего к форштевню, изнутри также надо обвести контур форштевня и дать по этой линии припуск 10 мм для возможности сварки листа с профилем штевня с наружной стороны. После этого лист снимают, намеченные точки линии верхней скулы соединяют с помощью гибкой рейки и, обведя верхнюю кромку листа, обрезают его в чистый размер ручными или электрическими ножницами.

Для подготовки свариого шва не требуется разделка кромок свариваемых листов. Благодаря слому на скуле прямоугольные кромки образуют снаружи подобие V-образной разделки под шов. Поэтому лист после обрезания по контуру вновь устанавливают на набор и укрепляют подпорками и струбцинами так, чтобы кромки обоих листов плотно сошлись и скуловой лист плотно прилегал по всем шпангоутам и к штевню. Последовательность сварки, для предотвращения сварочных деформаций, описана выше (см. стр. 168): сначала заваривают стыки (в данном случае шов на форштевне), потом продольный шов и наконец угловые швы крепления листа к шпангоутам. Продольный шов сначала сваривают изнутри на прихватках, затем окончательно заваривают V-образный шов снаружи. Если напряжения от сварки желательно свести до минимума, этот шов можно выполнять обратно ступенчатым способом: заваривают участок шва длиной около 500 мм, перемещаясь вперед, затем, отступив на 500 мм назад от заваренного участка, ведут сварку к началу шва и т. п. Верфи, на которых применяется сварка в среде защитного газа, отказываются от этого несколько трудоемкого метода.



Вторым ставят такой же лист скулового пояса обшивки с другого борта. К верхней кромке этих поясьев (ниже кромки примерно на 50 мм) прикрепляют плавно сгибающийся направляющий угольник. Обычно используют угольник, который был прикреплен к набору несколько выше скулы. Это необходимо для того, чтобы сделать кромку жесткой и получить ясно видимую линию скулы, которая должна быть плавной. То же проделывают с верхней кромкой ширстрека и комингсом бака, прежде чем ставить настил палубы бака (рис. 104). Можно работать и без направляющего угольника, если есть уверенность в том, что удастся точно и чисто выровнять верхние кромки листа. Угольники служат только вспомогательным средством для облегчения работы. Прежде чем у яхт с надстройкой-баком будут смонтированы комингсы бака, а у яхт с рубкой — ширстреки, ставят на место настил палубы. В вариантах с деревянной палубой сначала вваривают металлический палубный стрингер (ватервейс). Эта последовательность важна, чтобы впоследствии не подгонять палубный настил между кромками листов обшивки бортов.

Листы палубного настила, если погибь бимсов не слишком большая, не нуждаются в предварительной гибке. Их можно просто подтянуть к бимсам непосредственно на яхте. Обычно лист сначала прихватывают сваркой к палубным бимсам в ДП. Затем с помощью струбцин и подпорок его прижимают с обеих сторон к бимсу для следующей прихватки. Усадка от сварки на нижней стороне листа палубы облегчает процесс сгибания. При подобном методе постройки лист транца — почти единственная часть, которую надо заранее согнуть. Гибка в вальцах гарантирует получение правильной цилиндрической поверхности этой детали. Затем согнутый лист подают на стапель, где его подгоняют к корпусу. Лишний материал настила палубы и наружной обшивки обрезают согласно данным теоретического чертежа, оставив припуск 20—30 мм. Затем лист транца с проведенной на нем линией ДП для ориентации устанавливают при помощи вспомогательных средств с соответствующим наклоном, указанным в чертеже, и крепят в диаметральной плоскости яхты. С помощью прокладки толщиной 20—30 мм (соответственно припуску листов обшивки), вставленной вдоль листа транца, обводят точный контур палубы и наружной обшивки и, сняв лист транца, отрезают припуски на палубе и листах обшивки. Затем лист прикладывают еще раз, обводят его наружные контуры, обрезают и после этого сваривают с корпусом

угловым швом. Предварительно рекомендуется проверить, нет ли на обрезанных кромках корпуса изгибов и вмятин, и при необходимости выправить их. Форма и состояние кромок транца позже являются для любого специалиста критерием для оценки доброкачественности постройки яхты.

*Промежуточные шпангоуты* представляют собой простые угольники соответствующей длины, срезанные по концам под углом 45°. По окончании монтажа обшивки их приваривают в каждой шпации попеременно: один на левый борт и один на правый борт, от середины яхты к ее оконечностям. Одновременно с установкой промежуточных шпангоутов целесообразно отрихтовать наружную обшивку и палубу (см. стр. 173). Если эта операция выполнена тщательно, то правка после вваривания промежуточных шпангоутов понадобится лишь в некоторых местах. Окончательную правку обшивки можно производить только по окончании всех сварочных работ на корпусе, связанных со сборкой киля, руля, дейдвудной трубы, деталей для крепления такелажа, фундамента двигателя, усилений наружной обшивки, планок для монтажа легких переборок и мебели и т. д.

Описанный выше упрощенный метод пригоден для *самостоятельной постройки* яхт из стали. Долголетний тесный контакт с судостроителями-любителями убедил автора, что для них постройка яхты длиной 9 м и даже 13—14-метровой яхты не представляет чего-то невозможного, если работы организовать правильно и с соответствующим предварительным планированием. Так, один канадец построил свою первую 14-метровую яхту «Гидра» за 18 месяцев. В постройке постоянно были заняты только два человека, причем ни один из них до этого не занимался судостроением и даже не имел возможности присутствовать при постройке подобных судов. Эта яхта, снабженная позже спинакером, принимала участие в крупных океанских гонках с впечатляющими результатами.

Один торговец электрическими товарами построил стальную моторную яхту длиной 13,50 м с двухвальной установкой, работая с друзьями только в свободное время. Через три года они успешно закончили первые пробные испытания. Эта яхта обладает высокими мореходными качествами и впоследствии она использовалась для плаваний в Северном и Балтийском морях.

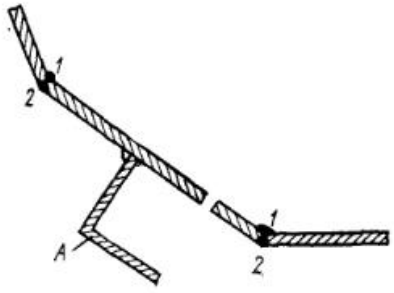



Рис. 104. Продольные стыки обшивки на скулах сваривают сначала внутри, затем зачищают снаружи и сваривают V-образным швом.
*A* — монтажное ребро жесткости.



Обе эти яхты являются, по всей вероятности, верхним целесообразным пределом для самостоятельной постройки. Нижний предел ограничивается сегодня длиной 9 м, если межпалубное пространство предполагается нормальной высоты. Яхта длиной около 10 м является оптимальной для одной семьи, а яхта длиной 11—12 м удовлетворяет высоким требованиям комфорта для семьи даже из 5—6 человек.

10-метровая яхта «Таранга» представляет собой золотую середину. За короткое время ее начали строить в таких больших количествах, что потребовалось объявить этот проект в качестве «Европейского любительского класса». Таким образом, упрощенный и несмотря на это высококачественный метод постройки яхт с двойной скулой кажется правильным путем развития европейских любительских классов.

На яхтах с металлической палубой *надстройки и рубки* выполняют также из металла. Если палуба деревянная, то и надстройка в большинстве случаев из дерева (см. стр. 149).

Небольшие металлические рубки обычно собирают прямо на яхте из отдельных деталей с помощью простых вспомогательных средств. Если в надстройке предусматриваются гнутые листы металла, даже небольшой площади, ее строят отдельно с использованием соответствующей оснастки и потом приваривают к палубе. Надстройки больших моторных яхт строят почти всегда из заранее изготовленных секций, которые состоят из наружных стенок, внутренних переборок и палубы. Наружные стенки имеют обычно незначительный изгиб в одном направлении и не нуждаются в предварительной гибке. Листы для них вырезают по шаблонам с плаза в соответственно развернутой форме. Палубу надстройки изготовляют таким же способом, как и палубу основного корпуса.

В зависимости от возможностей транспортировки и высоты цеха изготовленные секции надстройки собирают уже заранее в виде полного блока надстройки и затем устанавливают на корпус или же монтируют из отдельных секций на палубе яхты. В последнем случае на палубу сначала устанавливают наружные стенки, выравнивают их с помощью вспомогательных связей и приваривают к палубе. Затем ставят на место поперечные переборки и внутренние стенки. После сварки продольных, поперечных и внутренних стенок можно удалить большинство вспомогательных связей для удобства ведения последующих работ. Последний этап сборки надстроек — монтаж палубы.

На быстроходных моторных яхтах надстройки строят из алюминия, нередко очень тонкого, и для создания необходимой местной жесткости используют гнутые листовые конструкции. Поскольку в таких случаях придают значение достижению достаточной жесткости конструкции при минимальной массе, то для надстройки выполняют специальный теоретический чертеж. Такие надстройки сложны в изготовлении и высоки в цене, но

иногда необходимы для сверхлегких яхт. Чтобы выполнить их из тонкого материала без вмятин и деформаций, иногда прибегают даже к клепаной конструкции. Поскольку в этом случае не требуется абсолютной водонепроницаемости, применяют полые заклепки, так называемые попзаклепки, пустое пространство которых плотно заполняют пластиковым дюбелем. Технология постройки таких сложных надстроек аналогична в принципе технологии постройки круглоскулого корпуса на поперечных шпангоутах. Надстройка может быть смонтирована на палубе из готовых секций или изготовлена в виде блока, установлена на палубе и приклепана к заранее приваренным комингсам.

Металлические палубы должны иметь специальные *покрытия*, делающие их нескользящими и придающими им эстетический внешний вид. Наиболее дешевый вид палубного покрытия — нескользящие краски или мастики. В состав красок обязательно входит песок. Пользуются или готовыми красками, или мастиками, пригодными для засыпки гранулированным кварцевым песком. Покрытия с очень мелкой грануляцией песка быстро загрязняются и придают палубе неприглядный вид. Покрытие с более крупным зерном песка легче поддерживать в чистоте, кроме того, через несколько лет его можно перекрасить и нескользящие свойства покрытия от этого не пострадают.

Существуют также пластиковые палубные настилы, наклеиваемые на эпоксидном клею на металлическую палубу. В последние годы их все чаще применяют на высококачественных гоночных яхтах, где это дает желаемую экономию массы. Такое покрытие относительно дорогое, но обладает хорошими фрикционными свойствами и его легко поддерживать в чистоте. Кроме высокой цены у этого покрытия есть еще один недостаток: его долговечность пока не определена.

Один из любителей обшил палубу своей яхты длиной 9,30 м рифлеными стальными листами. Поскольку материал соответствует судостроительным требованиям, это решение нельзя назвать неправильным. Внешний вид палубы — дело вкуса, хотя рифленая поверхность и напоминает несколько баркасы и рабочие катера. Нескользящие свойства такого настила неплохие и чистка его удобна.

На яхтах с металлическими корпусами применяют также деревянную палубу. Многие яхтсмены считают, что она имеет непревзойденные нескользящие свойства, отличный внешний вид и удобна для уборки. При современной конструкции яхт комбинация металлического корпуса с деревянным настилом не представляет особых конструктивных трудностей. На рис. 105 показаны два узла крепления такой палубы к стальному корпусу. Палуба получается жесткая к скручиванию благодаря креплению фанеры к стальным палубным стрингерам на болтах и склеиванию настила из брусков с фанерой. Бруски закреплены во избежание деформации при изменении влажности. Деревянную палубу следует укреплять деревянными палубными бимсами. Фанера с помощью запрессовки шурупами хорошо склеивается с палубными бимсами. При достаточной поверхности склеивания не требуется привинчивать отдельные планки к палубным бимсам. Это экономит много труда и предотвращает появление течи. Швы между отдельными тиковыми планками декоративного настила заливают стойким к морской воде универсальным палубным клеем. Долговечность правильно обработанной деревянной палубы очень высока.

Палуба из двух склеенных слоев фанеры — другой вариант для яхты с металлическим корпусом. Однако фанера все равно требует нескользящего покрытия, а из-за неизбежного крепления ее кромок на болтах трудно обеспечить водостойкость такой палубы. Таким образом, если нельзя по каким-либо причинам сделать палубу из брусков тика, то лучше выполнить надежную без отверстий для болтов металлическую палубу.

Металлическая палуба с деревянным настилом — технически самый неудачный и одновременно дорогой и тяжелый вариант. Несмотря на это, на больших яхтах такой вариант применяют, если классификационные общества требуют наличия металлической палубы для обеспечения прочности или противопожарной безопасности. Владелец большой яхты тем не менее не отказывается от классического настила из деревянных брусков. Поэтому часто для крепления деревянного настила в металлической палубе делают тысячи отверстий для болтов, которые становятся наиболее вероятными местами течи. Этого недостатка можно избежать, применяя шпильки, привариваемые к стальной палубе с помощью контактной сварки. Применение этого варианта, однако, ограничивает необходимость постановки больших деревянных пробок в настиле, чтобы закрыть сверху шестигранные гайки.

Вариант изготовления *балластного киля* сварной конструкции при упрощенной технологии постройки яхты с двой-

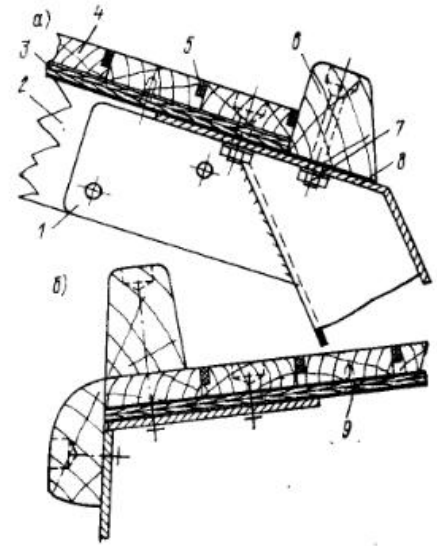



Рис. 105. Два варианта соединения деревянной палубы с металлическим корпусом: *а* — для яхты «Секура» с надстройкой-баком; *б* — для гладкопалубной яхты.

*1* — стальная планка для крепления бимса; *2* — бимс, дерево; *3* — фанерный настил, 6=6; *4* — планки из тика 45×12; *5* — залитый в пазы клей; *6* — фальшборт; *7* — болт М6×45, шаг 100—150; *8* — палубный стрингер 100×3; *9* — шуруп 4×13, шаг 200.

ной скулой был рассмотрен выше (см. стр. 191). Такой же метод изготовления балластных килей применяют при постройке корпусов другой конструкции и таким же простым способом соединяют с корпусом. Технически сложно и нерационально выполнять переход обшивки корпуса и обшивку балластного киля по радиусу — это непродуманное заимствование из времен постройки яхт с S-образными шпангоутами. Вся конструкция соединения с днищевыми связями корпуса становится вследствие этого значительно тяжелее. Преимуществ обтекания нельзя ожидать, действие боковой силы сопротивлению дрейфу киля даже ухудшается.

Литой киль с его высокими расходами на модель нерентабелен для постройки одной яхты, но рационален при изготовлении серийных яхт. Иногда киль отливают из свинца; для серийных яхт его в большинстве случаев отливают из чугуна. При сочетании свинцового киля с алюминиевым корпусом возникают проблемы электролиза между обоими материалами в морской воде или (что еще хуже) в морской воде, смешанной с пресной. Такой киль нужно покрывать плотным слоем эпоксидной смолы или полиуретана и электрически изолировать от корпуса. Крепежные болты в этом случае делают из нержавеющей стали со специальными уплотняющими шайбами из нейлона.

При постройке корпуса килем вверх балластный киль в любом случае соединяют с корпусом после его раскантовывания, чтобы не создавать ненужных транспортных проблем. На тяжелой транспортной тележке такой киль массой в несколько тонн поднимают под высоко поднятый корпус яхты и устанавливают точно по месту. Отверстия в усиленном килевом поясе корпуса размечают и сверлят заранее с помощью шаблонов для сверления.

*Балластные шверты и подъемные кили* выполняют обычно в виде сварных металлических оболочек и затем заливают их внутреннюю полость свинцом. Для серийных яхт эти детали отливают из чугуна. У больших гоночных яхт типа «Ондин» Британа Ченса оболочка киля сварена из нержавеющей стали со свинцовым наполнителем. Есть также балластные шверты, отлитые из свинца с примесью сурьмы с внутренним каркасом.

*Рули* с их гельмпортами, плавниками и опорами относятся к наиболее важным деталям, от которых зависит безопасность яхты. Конструктор рассчитывает усилия на руле и соответственно соразмеряет баллер, перо руля и опору. Результаты расчета руля с жесткой пяткой, подвесного или балансирного рулей довольно бесспорны, даже если принимаются различные значения коэффициента безопасности. И, наоборот, у современных парусных яхт, на которых в большинстве случаев установлен руль с узким плавником, распределение сил между пером руля и жестким плавником — скегом проблематично. Оно зависит от того, насколько эластичен скег и при каком боковом давлении баллер руля, соединенный снизу со скегом через опорную цапфу, оказывается сильно нагруженным. Опытные конструкторы рассчитывают величину для бокового давления, действующего на перо руля при его повороте. Затем определяют изгибающий момент в баллере руля, который обычно в 8—12 раз превышает возникающий крутящий момент. При этом предполагают, что баллер свободно оперт на две опоры.

Изготовление собственно руля — относительно простое дело, если речь идет о сварной стальной конструкции, в которой стальной баллер можно сварить с каркасом и обшивкой пера руля. Подробное описание этого процесса приведено на стр. 194. Сваренное полое перо руля проверяют на герметичность сжатым воздухом и мыльным раствором. Специальной внутренней консервации не требуется. Рационально применять эту простую конструкцию также для яхт из алюминия при условии, что для баллера и других стальных деталей будет использована нержавеющая сталь, содержащая молибден. Для яхты упрощенной конструкции с двойной скулой несложно вычертить руль с плавником на чертеже днищевого контура (рис. 106). У обычной яхты с круглоскулыми шпангоутами, наоборот, плавник является деталью, вписанной в обводы корпуса и вместе с ним обшитой листами.

Гельмпорт на современных металлических яхтах состоит из относительно толстостенной бесшовной трубы из того же материала, что и корпус. Трубу сваривают с корпусом и в верхней части через солидные кницы раскрепляют поперек яхты с днищевым флором, как это можно видеть на рис. 106. Поскольку защита от коррозии внутренней полости гельмпорта затруднена, на трубе гельмпорта выше КВЛ крепят большую втулку с пресс-масленкой, через которую вдавливают в гельмпорт смазку.

На малых и средних яхтах подшипники руля чаще всего делают из пластмассы, смазкой для которой может служить вода, либо из материала, обладающего необходимыми антифрикционными свойствами для работы всухую (без смазки). К таким наиболее применяемым материалам относятся ферроцелл в ФРГ и микарта в США. Так как эти пластмассы, состоящие из тканей, пропитаниых искусственной смолой, в воде немного набухают, то заготовки подшипников перед обработкой нужно несколько дней выдержать в воде. Для ферроцелла, кроме того, есть таблицы с допусками на набухание для различных диаметров баллеров. Нейлон и тефлон не нашли применения в качестве материала для подшипников руля вследствие их быстрого износа.

Подшипники скольжения можно изготовлять из металла: бронзы или нержавеющей стали при условии хорошей смазки. На больших яхтах часто применяют дорогостоящие самоуста-

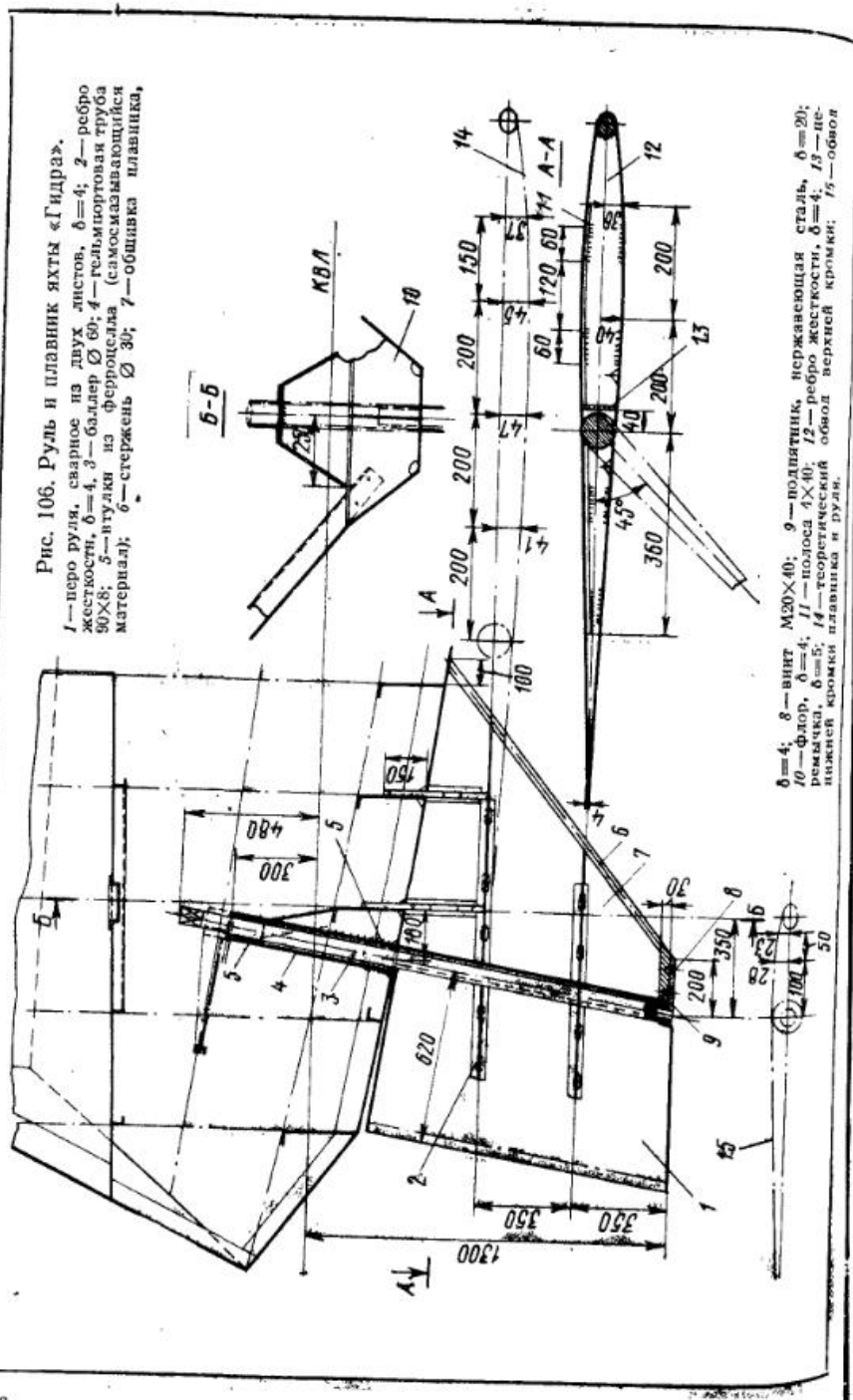



Рис. 106. Руль и плавник яхты «Гидра».
*1*—перо руля, сварное из двух листов, δ=4; *2*—ребро жесткости, δ=4, *3*—баллер ∅ 60; *4*—гельмпортовая труба 90×8; *5*—втулки из ферроцелла (самосмазывающийся материал); *6*—стержень ∅ 30; *7*—обшивка плавника, δ=4; *8*—винт М20×40; *9*—подпятник, нержавеющая сталь, δ=20; *10*—флор, δ=4; *11*—полоса 4×40; *12*—ребро жесткости, δ=4; *13*—цевка, δ=5; *14*—теоретический обвод верхней кромки; *15*—обвод нижней кромки плавника и руля.

навливающиеся роликовые подшипники с уплотнением, которые относительно долго служат, если подавать к ним смазку под давлением, препятствующую проникновению морской воды.

Рулевой сектор для штуртроса имеет обычно разрезную ступицу, с помощью которой его зажимают на верхней части баллера руля. Его изготовление как простой сварной конструкции по подробному чертежу не представляет никаких проблем, даже для любителей-судостроителей.

При изготовлении *кронштейнов* и выкружек гребного вала судостроитель и механик должны работать синхронно. В то время как изготовление втулки кронштейна гребного вала или расточка дейдвудной трубы для установки втулок подшипников — работы чисто машиностроительные, крепление готовой дейдвудной трубы в корпусе, а также установка и крепление к корпусу кронштейна гребного вала являются судостроительными работами.

В простых конструкциях, например, на яхте «Гидра» (рис. 107), дейдвудная труба является частью корпуса и сварена с ним. При изготовлении шпангоутных рам или переборок в них делают заранее отверстия для дейдвудной трубы, пользуясь разметкой теоретического чертежа контура днища. После того как корпус полностью обшит, стапель в районе установки вала надо демонтировать или снять корпус со стапеля и установить на кильблоки. В месте выхода гребного вала из корпуса в наружной обшивке прорезают небольшое временное отверстие, через которое натягивают тонкую стальную проволоку точно по центровой линии вала и оба ее конца закрепляют на временно приваренных держателях. Эта струна служит одновременно для контроля при монтаже в корпусе также заранее собранного фундамента под двигатель. От центра отверстия тщательно обчерчивают выход дейдвудной трубы через наружную

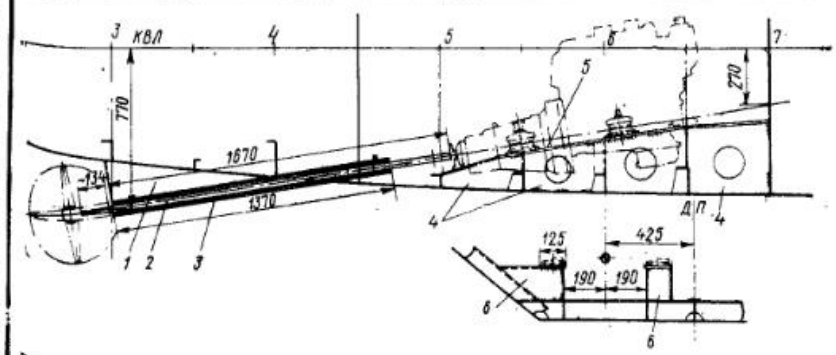



Рис. 107. Линия вала и фундамент под двигатель на яхте «Гидра» (установка двухвальная).
*1*—лист, δ=4; *2*—гребной вал ∅ 32; *3*—дейдвудная труба 70×9; *4*—брекеты фундамента, δ=5; *5*—опорная полка фундамента 8×125; *6*—кница, δ=5; фланец 50.

обшивку и прорезают его газовым резаком. Затем вставляю дейдвудную трубу, убранную перед этим контрольную струн протягивают через трубу и по ней выравнивают трубу и при хватывают ее сваркой к корпусу. После этого тщательно подго няют между дейдвудной трубой и наружной обшивкой лист вы кружки — кожух дейдвудной трубы — и также прихватывают ег точечной сваркой. Сварку выкружки гребного вала с наружно обшивкой ведут небольшими ступенями длиной около 100 мм вперед и назад и попеременно на левом и правом борту. Обшив ку выкружки гребного вала сваривают с дейдвудной трубой только после того, как места точечной сварки зачистят для снятия сварочных напряжений. Сварку ведут маленькими ступенями, начиная от середины к краям.

Кронштейны гребного вала, если они предусмотрены проектом, устанавливают по описанному выше методу центровки линии вала стальной струной. Сначала сваривают с корпусом лапу кронштейна, а потом ее соединяют с точно отцентрованной втулкой кронштейна. Кронштейны с одной лапой, которые вследствие некоторой эластичности способны выдерживать лишь незначительные колебания вала, являются особой заботой конструктора или строителя яхты. Более надежны и прочны кронштейны с двумя лапами, но они оказывают большее сопротивление воде.

Фундаменты для главных двигателей, выполняемых на больших яхтах в виде днищевых отсеков, являются частью конструкции корпуса. Фундаменты для вспомогательных двигателей парусных яхт, как и необходимые агрегаты, чаще всего изготовляют по шаблонам с плаза и собирают дополнительно. Фундаменты монтируют обычно, когда корпус полностью сварен. То же относится и ко всем палубным фундаментам для лебедок, киповых планок и битенгов и т. п. Все эти детали приваривают на место перед тем как начать доделочные работы на корпусе, палубе и надстройках. Этот порядок работы непременно следует соблюдать, особенно если нужно построить первоклассное судно с гладкой обшивкой.

## ГЛАВА 5. ПОСТРОЙКА ЯХТ ИЗ АРМОЦЕМЕНТА

Яхты, построенные из армоцемента, во многих странах рассматривают как курьез и относятся к этому неходовому судостроительному материалу так же скептически, как в пятидесятые годы к яхтам, построенным «из стекла». Это недоверие прежде всего основано на том, что бетон как дешевый и доступный строительный материал для постройки яхт кажется недостаточно благородным. Однако метод постройки яхт из армоцемента имеет мало общего с приемами наземного и подземного строительства. Стальная арматура в корпусе яхты из армоцемента, значительная по объему и высокая по плотности, играет еще бо́льшую роль, чем в обычных железобетонных сооружениях.

Метод постройки яхт с применением стали и бетона — не новый. Еще в сороковых годах профессор Пьер Луиджи Нерви в Италии, опытный строитель железобетонных конструкций, разработал этот метод и построил наряду с несколькими служебными катерами и судами моторную яхту водоизмещением 165 т, а также 12-метровый кеч «Неннель». Корпус этой яхты при толщине наружной обшивки всего 12 мм был удивительно легким и, несмотря на пророчества скептиков, не разбился «как старый глиняный горшок». Материал был назван Нерви «армоцементом». В течение последующих лет метод постройки судов из этого материала был усовершенствован и видоизменен. Непопулярность армоцемента можно объяснить ограниченными возможностями строительства из него серийных судов в дешевом и привлекательном исполнении.

Армоцемент стали использовать преимущественно любители, которые уверовали в качества судна из этого материала. Таким достоинством армоцемента, как долговечность при хорошей прочности противостоят довольно высокие затраты труда по сравнению с пластмассой, а также малоинтересный внешний вид. Любителей привлекает незначительная потребность в инструментах и приборах, как и возможность постройки лодки под открытым небом. Небольшая цена составляющих армоцемент материалов, по сравнению с другими судостроительными материалами, имеет мало значения при расчете общей стоимости яхты.

Безупречно построенные армоцементные яхты не уступают яхтам из других материалов, что доказано многочисленными примерами подобных судов, построенных в Новой Зеландии и Австралии на специально оборудованных верфях, а также любителями. Германский Ллойд разработал инструкции по постройке армоцементных яхт, благодаря чему стало возможным при соблюдении этой инструкции получить сертификат классификационного общества на безупречно построенную яхту. Несмотря на многочисленные попытки изготовления совсем небольших спортивных яхт из армоцемента, опытом установлено, что только при определенных размерах, начиная примерно с длины 12—14 м, этот строительный материал позволяет получить приемлемую массу корпуса относительно его длины.

К сожалению, некоторые публикации преуменьшили трудности постройки яхт из армоцемента и создали у читателей впечатление, что с помощью небольшого количества проволоки и нескольких мешков цемента можно построить за несколько

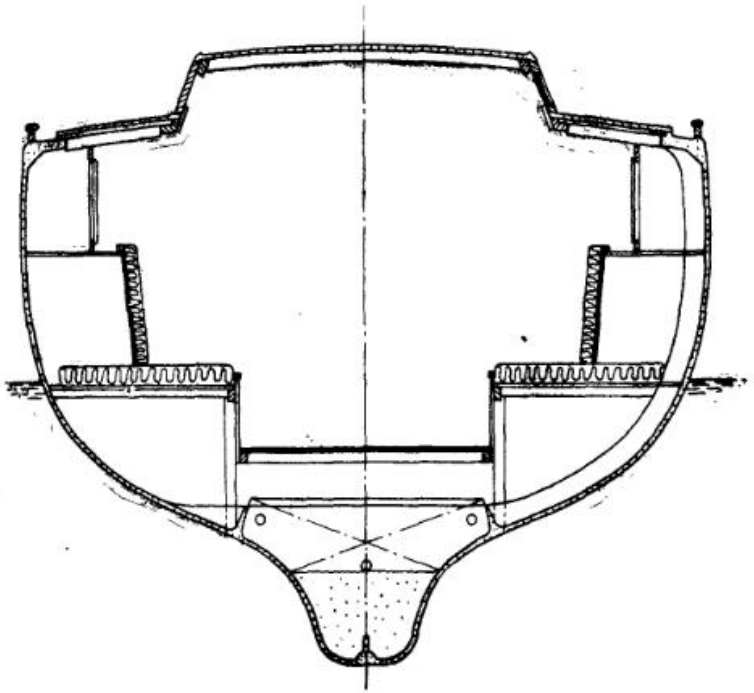


Рис. 108. «Мидель-шпангоут» 12-метрового крейсерского кэча из армоцемента.

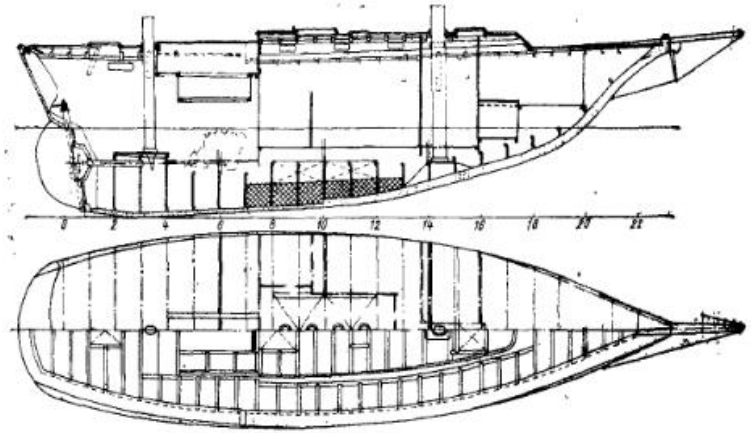


Рис. 109. Конструктивный чертеж кэча из армоцемента.

выходных дней солидную яхту. От этой ошибочной оценки можно только предостеречь: метод постройки по своим трудностям не уступает постройке судна из других материалов, а часто даже превосходит их. Дополнительные трудности создает фактор неоднородности материала. Как и при постройке судна из пластмассы, в армоцементном корпусе нельзя установить, имеются ли дефекты, допущенные при армировании или смешивании бетона, которые делают судно практически непригодным к большим морским переходам. Опасения эти можно устранить только при условии тщательного проектирования конструкции и добросовестной работы.

При проектировании обводов корпуса армоцементной яхты конструктор вынужден идти на некоторые компромиссы. По своим возможностям придания формы армоцемент аналогичен пластмассе. S-образная форма шпангоутов, вельботная или байдарочная острая корма, как и вогнутые линии, почти не представляют трудностей при изготовлении корпуса. Такие обводы обеспечивают дополнительную прочность корпуса без увеличения его массы благодаря жесткости обшивки и поэтому судно хорошо противостоит местным нагрузкам.

Важным критерием при проектировании армоцементной яхты является масса корпуса. По условиям технологии и для достижения достаточной местной прочности требуется значительная толщина наружной обшивки, в связи с чем масса корпуса получается больше, чем у яхт таких же размерений, построенных из других материалов. Сейчас предпринимаются попытки изготовить тонкостенные армоцементные оболочки для корпусов, что позволит устранить предубеждение против

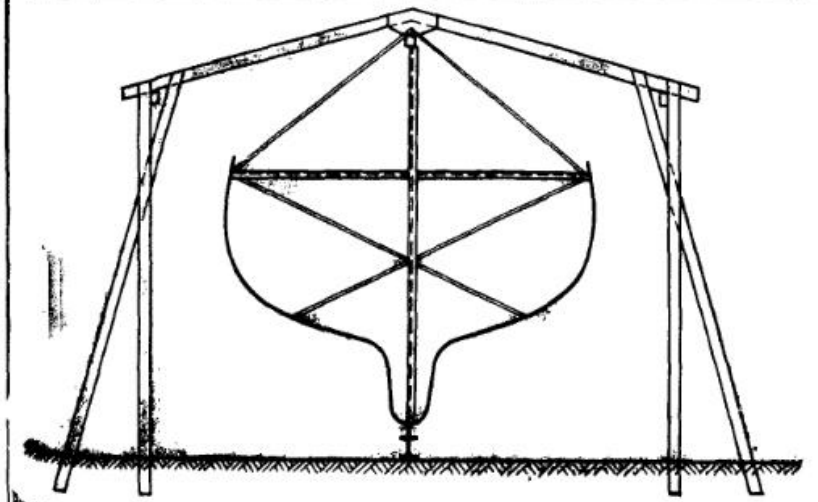


Рис. 110. Поперечное сечение стапеля.

армоцемента. Основное достоинство армоцемента заключается в том, что суда, построенные из этого материала, неприхотливы в эксплуатации. Поэтому армоцемент незаменим для судов, рассчитываемых на длительные плавания, для тяжелых океанских крейсерских яхт и моторно-парусных судов. При проектировании армоцементной яхты нужно уже при вычерчивании обводов учитывать особенности технологии постройки корпуса. В слишком узкие или слишком низкие плавники киля и скега трудно безукоризненно уложить проволочную сетку и бетон (рис. 108 и 109).

К месту постройки яхт из армоцемента предъявляются скромные требования и это немаловажное преимущество. Стальной каркас можно строить на открытом воздухе, а для работ по бетонированию (омоноличиванию) достаточно иметь навес от непогоды. Основание, на котором ведется постройка, должно быть прочным; необходимо обеспечить подвод электроэнергии и достаточного количества воды к месту строительства и предусмотреть способ транспортировки готовой яхты. И тем не менее ни при каком другом методе постройки не требуется такой тщательности в подготовке стапеля, как для яхты из армоцемента. Особенность заключается в резком возрастании массы строящегося судна при его бетонировании и сотрясениях, неизбежных при утрамбовании и уплотнении раствора на арматуре. Поэтому нельзя допустить того, чтобы опора или распорка сломались, согнулись или осели. Если это произойдет, корпус перед отвердеванием покоробится или получит вмятины.

При постройке килем вниз надо установить жесткую и прочную поперечную раму с раскосами у каждого второго шпангоута (рис. 110). Цоколь образует прочная балка, которую надо выровнять строго горизонтально. Эту балку, обычно из стального двутавра, нельзя класть прямо на землю, а нужно положить на промежуточные подкладки из дерева. При оборудовании стапеля надо обеспечить возможность постройки нижней части киля и удобного доступа к ней. Если пятка киля расположена слишком низко на стапеле, то поместить сюда проволочную сетку и безупречно выполнить бетонирование весьма затруднительно.

## 5.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Армоцементная яхта состоит из четырех конструктивных элементов корпуса:

1) набора, фиксирующего форму и состоящего из шпангоутов, киля и форштевня;

2) решетки из стальных круглых прутков, придающей прочность обшивке;

3) тонкой проволочной сетки — вспомогательного элемента, способствующего приданию прочности;

4) бетона — уплотняющего элемента с дополнительной функцией защиты металлических деталей от коррозии.

Стальной каркас образует основу армоцементной яхты, однако при его конструировании следует учитывать удобство постройки яхты, особенно при разработке конструкций, предназначенных для любительской постройки.

Шпангоуты должны обладать жесткостью, достаточной для того чтобы держать форму корпуса при монтаже арматуры. Применение обычных трубчатых шпангоутов вряд ли способствует увеличению прочности готового корпуса. Шпангоуты сваривают с килем, форштевнем и кормовым набором (рис. 111).

На яхтах больших размеров и яхтах с плоскими поверхностями наружной обшивки, например, с остроскулыми обводами, нужно предусматривать достаточное число рамных шпангоутов. Их изготовляют из двух параллельно идущих стальных труб или прутков, соединенных на определенном расстоянии посредством зигзагообразного арматурного прутка. Соединение сваривают электрической сваркой (рис. 112 и 113). В некоторых проектах все шпангоуты имеют подобную конструкцию, даже при малых размерах яхт. Такие шпангоуты относительно прочные, но вызывают дополнительные трудности при размещении

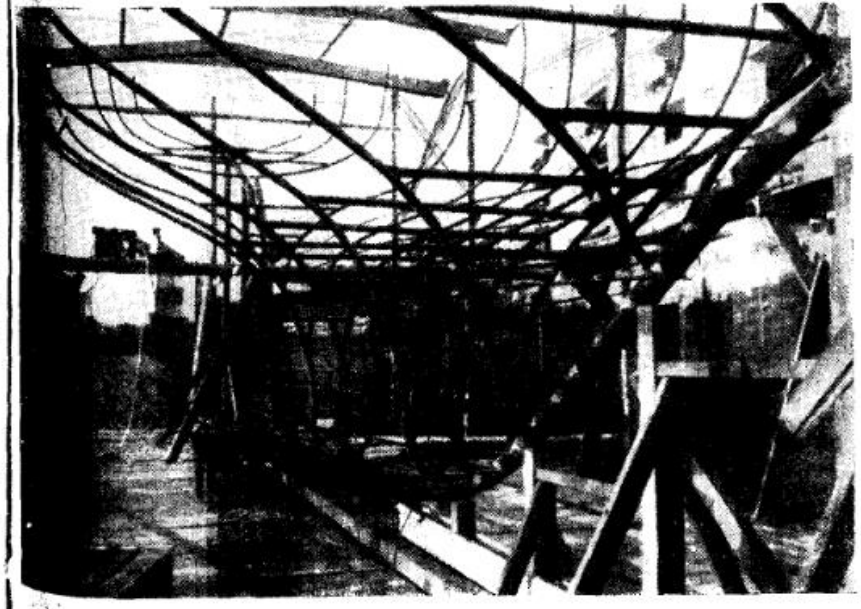


Рис. 111. Каркас армоцементной яхты на стапеле. Установлены шпангоуты и укреплены продольные арматурные стержни. Хорошо видна мощная труба, составляющая основу килевого профиля.

внутренней проволочной сетки, а также значительно увеличивают массу конструкции. Нужен большой опыт конструктора, чтобы предусмотреть рамную конструкцию в соответствии с типом и назначением яхты при обеспечении достаточной прочности, без технологических сложностей и лишних расходов. Недостатком рам в виде решетчатой фермы из арматурных прутков является их малая жесткость в направлении вдоль судна. На стапеле такие шпангоуты так же сложно зафиксировать, как и выровнять.

Особое внимание надо уделять конструкции днищевого отсека. После того как шпангоуты установлены на стапеле и тщательно выровнены, можно приступать к монтажу арматурных прутков. Целесообразно начинать с продольных прутков — стрингеров, причем работу следует вести от палубы вниз с соблюдением определенного расстояния между прутками. Опытом установлено, что целесообразно располагать стрингеры на расстоянии примерно 50—70 мм. Стрингеры скрепляют со шпангоутами легкой точечной сваркой или связывают прочной проволокой. Плотная сварка может привести к перекосу шпангоутов, слишком слабое проволочное соединение — к смещению (скольжению) арматуры. Концы продольных стрингеров загибают у форштевня и отводят примерно на 60 мм на другой борт судна. К ахтерштевню их крепят также с помощью точечной сварки или прочного проволочного соединения (рис. 114). Прежде чем начать установку поперечных арматурных прутков, надо проверить продольные стрин-

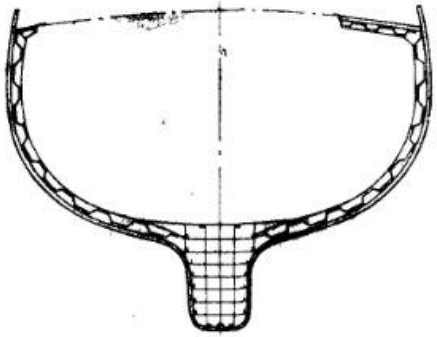


Рис. 112. Конструкция рамного шпангоута. Слева — для деревянной палубы, справа — для палубы из армоцемента.

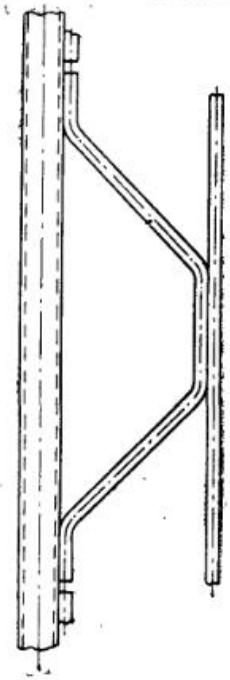


Рис. 113. Элемент рамного шпангоута, состоящего из 8-миллиметрового арматурного прутка, сваренного с трубой шпангоута.

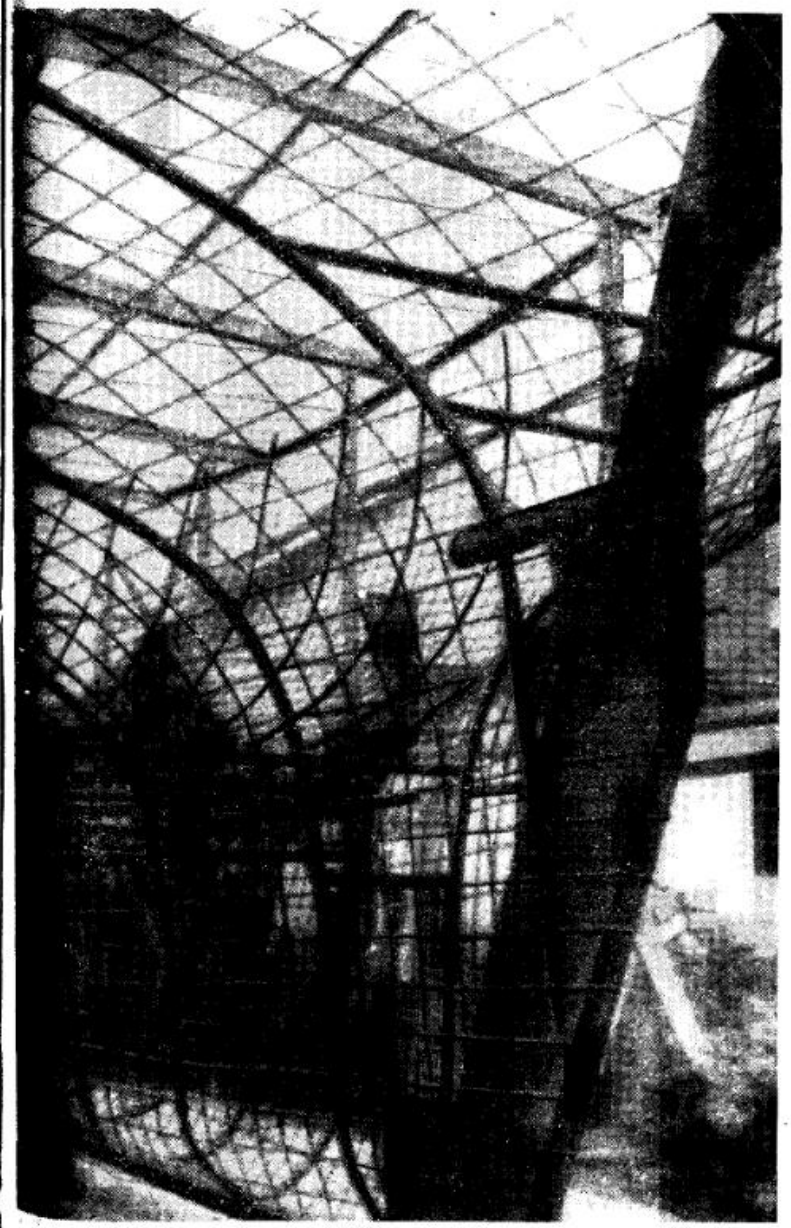


Рис. 114. Конструкция ахтерштевня, сваренного из стали, с закрепленной на наборе сеткой.

геры на плавность обводов и сделать соответствующие исправления. Расстояние между поперечными прутками должно составлять около 100 мм. Интервал между ними выбирают в соответствии с расстоянием между шпангоутами.

После того как вся арматура установлена и выровнена, приготовлены или поставлены палубный стрингер, днищевые флоры, фундамент под двигатель, вант-путенсы и т. д., можно приступать к натягиванию на каркас тонкой оцинкованной проволочной сетки. Начинают сначала с укладки наружных слоев (3—4 слоя). Слой сетки привязывают тонкими проволочными скобами как можно плотнее к решетке из арматурных прутков. Затем плотно укладывают внутренние 2—4 слоя сетки на всю внутреннюю поверхность набора. При этом рамные шпангоуты, днищевые флоры и металлические детали для крепления такелажа должны быть плотно закрыты сеткой (рис. 115).

## 5.2. ПОСТРОЙКА

Для постройки *палубы* и надстройки армоцементных яхт можно применять различные комбинации материалов. С экономической точки зрения армоцементная палуба, казалось

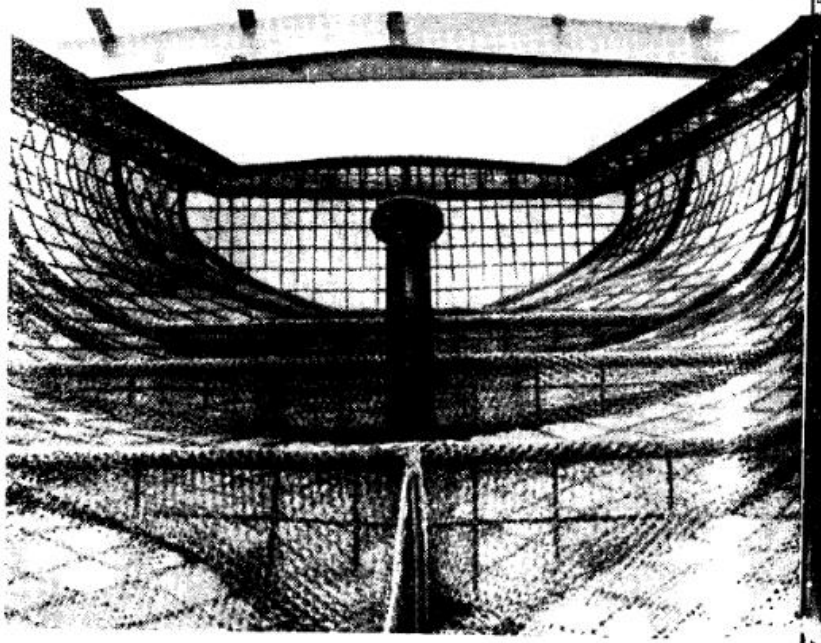


Рис. 115. Днищевые флоры — важный конструктивный элемент. Их армируют аналогично корпусу.



, очень выгодна, но если подумать о множестве проблем, которые возникнут при постройке надстройки и кокпита из этого материала, то станет ясно, что смешанный вариант конструкции с палубой и надстройками из дерева и фанеры дает значительные преимущества (рис. 116). Особой заботой строителя ты является установка на палубе и в надстройке, если она готовлена из армоцемента, иллюминаторов, люков и монтаж ьных вещей на палубе. Крепление этих деталей к деревянной палубе осуществить значительно проще и, кроме того, не жно делать внутренней опалубки бетонирования палубы. ормление безукоризненной кромки борта для соединения с евянной палубой является важным условием для надежной рочности корпуса (см. рис. 116).

*Фальшборт* может быть изготовлен из армоцемента при ормовании корпуса совместно с наружной обшивкой, а также з дерева или легкого металлического профиля. На больших хтах часто отдают предпочтение армоцементному фальшборту. В этом случае надо позаботиться о том, чтобы при бетонировании в фальшборте остались выемки для достаточно больших шпигатов. Следует сделать закладные детали для того, чтобы закрепить на фальшборте деревянный *планширь* и создать основу для крепления леерных стоек, планок для проводки шкотов, канифас-блоков и т. д. Деревянный фальшборт имеет, ечно, более привлекательный вид и дает для еменных высокобортных яхт оптическое преимущество. Для надежного и прочного крепления евянного или металлического льшборта к армоцементному пусу требуется тщательная варительная подгонка.

Особенность армоцемента состоит в том, что он не допускает

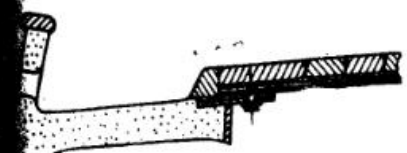


Рис. 116. Схема присоединения деревянной палубы к армоцементному корпусу.

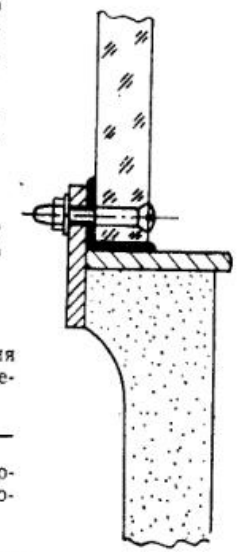


Рис. 117. Схема установки иллюминатора с рамой из нержавеющей стали.

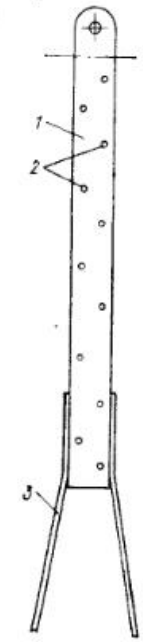



Рис. 118. Вант-путенсы в армоцементном корпусе.
1 — стальная полоса; 2 — точечная наплавка электросваркой; 3 — пруток диаметром 6 мм.

никаких последующих изменений и доработки на готовом объекте, поэтому все детали должны быть тщательно продуманы и подготовлены до начала бетонирования. Особенно это относится к *иллюминаторам*, установка которых после бетонирования практически невозможна. Стекла бортовых иллюминаторов (чаще всего их делают из плексигласа толщиной 12—15 мм) крепят на винтах к раме из нержавеющей стали, заформованной в наружную обшивку (рис. 117). Раму сваривают с арматурными прутками или снабжают дополнительными связями (анкерами), которые затем омоноличивают бетоном. Стекла ставят на подходящий уплотнитель и во избежание повреждений немного утапливают внутрь наружной обшивки.

Когда стальной каркас армоцементной яхты готов, подготавливают *закладные детали* для крепления переборок, стенок, цистерн и т. п. В качестве присоединительных элементов пригодны куски полосовой стали, выступающие внутрь корпуса над обшивкой, к которым можно крепить на винтах соответствующие деревянные или фанерные переборки. Эти полосы длиной примерно 30 мм имеют наваренные анкеры из арматурного прутка, крылообразно разогнутые, которыми и вставляются до середины в стальную арматуру. Анкеры такого типа пригодны также для крепления вкладных цистерн для горючего и пресной воды.

Перед бетонированием в местах, где должны быть бортовые отверстия, надо вставлять в проволочную сетку конусные пробки из дерева или пластмассы. После затвердевания бетона они легко удаляются и, таким образом, исключается трудоемкая работа по последующему сверлению отверстий в готовой наружной обшивке. К таким отверстиям относятся: для подачи воды и выходное отверстие гальюна; для подачи воды на камбуз и сточное отверстие; шпигаты для стока воды с палубы; осушительные шпигаты из кокпитов; отверстие для забора воды в систему охлаждения двигателя; газовыпускное отверстие двигателя; для заземления; клюзы для цепей и канатов; водопротоки в днищевых флорах; отверстия для эхолота и лага.

Немаловажными закладными деталями являются вант-путенсы. Если их замоноличивают в наружную обшивку, то рекомендуется или полностью изготовлять эти детали из нержавеющей стали или хотя бы их часть, выступающую над палубой. Если это невозможно, то следует применить оцинкованную сталь. Важно обеспечить надежную защиту от коррозии всех металлических частей, выступающих из наружной обшивки, так как их нельзя потом заменить. Более того, из-за сильной коррозии снижается прочность этих ответственных деталей и тем самым ставится под сомнение безопасность плавания яхты. Надежное крепление вант-путенсов в наружной обшивке достигается приданием шероховатости их поверхностям, а также с помощью наваренных на них анкеров из арматурных прутков (рис. 118).



Все вант-путенсы вставляют перед укладкой внутренних слоев проволочной сетки и сваривают их анкеры с продольными стрингерами каркаса.

При всех достоинствах армоцемента нельзя, однако, заходить так далеко, чтобы изготавливать *руль, гельмпорт* и другие специальные устройства из этого материала. Хотя технически это и возможно, но стоимость изготовления этих деталей была бы высока и их внешний вид малопривлекателен. Чаще всего эти конструкции выполняют из тех же материалов, что и на стальных яхтах. Баллер руля изготовляют из круглой стали, а обшивку пера руля — из стальных листов или цветного металла. Для гельмпорта применяют трубу из нержавеющей стали, которую сваривают со стальной арматурой корпуса. Узкое стальное кольцо, которое наваривают на основание гельмпорта, может служить соединительным элементом с каркасом. Чтобы иметь возможность собрать руль на месте, подпятник часто делают съемным. Надежная защита от коррозии достигается изготовлением креплений по возможности из нержавеющей стали.

Прежде чем начинать *бетонирование* — омоноличивание арматуры цементно-песчаным раствором, надо тщательно проверить поверхность корпуса, покрытую сеткой, на безукоризненную плавность обводов. Рамные шпангоуты, фундамент для двигателя и кромки палубы должны быть скреплены сваркой в единую стальную конструкцию. Все соединительные элементы для продольных и поперечных переборок должны быть поставлены на место, а в местах бортовых отверстий в проволочную сетку вставлены глухие пробки.

Поскольку после бетонирования какие-либо исправления невозможны, каждую деталь надо заранее проверить, на месте ли она расположена и способна ли выполнять назначенную ей функцию. Следует отметить, что при постройке армоцементного корпуса цементно-песчаный раствор нельзя использовать как универсальное выравнивающее средство для исправления небрежностей исполнения поверхности корпуса. Окончательный вид наружной обшивки можно исправить шкуркой и тонким слоем шпаклевки. Лучше сделать исправления на стальном каркасе, чем потом затратить намного больше времени на доработку поверхности. Если яхту строят не в отапливаемом помещении, то бетонирование надо отложить на теплое время года. В морозную погоду бетонировать нельзя, но это нельзя делать и в очень жаркие летние дни.

Чрезвычайно важной работой по приготовлению цементно-песчаного раствора должен заниматься один человек. Особое внимание надо уделить правильной дозировке цементно-песчаного раствора и количества воды. Не менее важно во время бетонирования осуществлять постоянный контроль за хорошим смешиванием цемента и песка. Простые мешалки падающего типа при этом методе постройки малопригодны и тем более

нельзя смешивать вручную. Лучше всего применять лопастные бетономешалки принудительного действия. Для выбора сырья и добавочной смеси и их дозировки существуют разные рецепты. В любом случае следует применять мелкий песок, тщательно просеянный, и хороший цемент. Впервые берущимся за постройку яхты из армоцемента стоит порекомендовать сделать один или несколько не слишком маленьких образцов, перед тем как начать бетонировать корпус яхты. При изготовлении образцов лучше всего узнаются особенности этого метода постройки.

В различных публикациях можно найти самые разные рекомендации для состава цементно-песчаной смеси. Хорошо зарекомендовал себя состав, для которого берут колючий чистый кварцевый песок в грануляции 0—2 мм (максимально 3 мм). Песок надо так просеивать, чтобы можно было применять примерно на 1/3 грануляции от 0 до 0,2 мм; на 1/3 грануляции от 0,2 до 1 мм на 1/3 грануляции от 1 до 2 мм. Две части такого песка смешивают с одной частью портланд-цемента марки не ниже 400 и одной частью чистой воды, не содержащей нефти (масла) и жира. Воды нужно добавлять не больше, чем это требуется для получения пластичной, способной хорошо размешиваться цементно-песчаной смеси. Раствор должен быть такой консистенции, чтобы с одной стороны, он легко запрессовывался через сетку, а с другой, хорошо задерживался в арматуре. Для повышения плотности армоцемента можно применять добавочные смеси, такие, как замедлитель затвердевания, дефлегматор (разжижитель) и т. д. Оптимальную дозировку устанавливают обычно специалисты.

Процесс схватывания омоноличенной наружной обшивки имеет большое значение для качества армоцементного корпуса. После бетонирования надо обеспечить медленное и свободное от напряжений *отвердевание* материала. Наряду с защитой от солнца важно установить правильный режим постоянного увлажнения корпуса. С этой целью можно применять соломенные маты, рогожу, мешковину или другие тканые материалы, которыми покрывают забетонированные поверхности сразу же после нанесения раствора на сетку, закрепляют их от ветра и регулярно увлажняют с помощью дождевальной установки или простого садового шланга. Перед увлажнением надо открыть все стоки во избежание скапливания воды в трюме корпуса. Увлажнение корпуса производится в течение 10—14 дней до приобретения армоцементом нужной прочности.

Существует возможность путем равномерного пропаривания паром с температурой 50—70°С сократить время отвердевания примерно на один день, но этот способ под силу осуществить только предприятиям, специализирующимся на производстве подобных конструкций. Во время отвердевания корпус должен находиться в состоянии покоя; сотрясения и удары, как и резкие колебания температуры, дождь и сильный ветер, могут привести к повреждениям. Даже по окончании процесса увлажнения корпус требует осторожного обращения и его надо предохранять от прямого облучения солнцем. Транспортировать корпус можно только спустя две недели.



Большинство армоцементных яхт проектируют исключительно как суда для длительного плавания и поэтому на них должны быть предусмотрены особенно большие емкости для пресной воды и горючего. Эти дополнительные грузы располагают обычно равномерно и как можно глубже под пайолами в районе киля. Для пресной воды выделяют несколько шпаций между днищевыми флорами. При этом надо обращать внимание на то, чтобы такие легко подверженные коррозии металлические детали, как труба шпангоута, проволочная сетка или балласт были покрыты бетоном. В противном случае эти детали за короткое время могут испортить питьевую воду. *Цистерны* должны быть разделены на отсеки для того, чтобы площадь свободных поверхностей жидкостей не была слишком большой. Обязательно нужно разделять цистерны хотя бы на два отдельных отсека, чтобы по тем или иным причинам весь запас пресной воды не был бы сразу испорчен. В отдельных отсеках на верхней или нижней кромке днищевых флоров нужно сделать отверстия — водопротоки.

Встроенные цистерны из армоцемента непригодны для хранения горючего. В качестве цистерн для горючего используют баки из высококачественной стали, цветных металлов, сплавов алюминия или пластмасс. Несколько таких баков можно разместить в небольших днищевых отсеках, но обычно выгодно установить цистерны большей вместимости выше днищевых флоров или у скулы. Важно, чтобы все отдельные баки имели надежное крепление и эластичную опору на резиновых элементах, особенно баки из алюминия, которые должны быть электрически изолированы от корпуса. На всех баках должны быть контрольные отверстия для чистки, плотно завинчивающиеся.

У армоцементных парусных яхт целесообразно размещать внутренний *балласт*. Его укладывают в полость киля в виде отдельных отливок. Наиболее пригоден свинцовый балласт благодаря своей высокой плотности. Часто отдельные чушки свинца укладывают в киль, а пустоты заливают расплавленным свинцом. Не следует забывать о мерах предосторожности, так как пары свинца ядовиты и вредны для здоровья. Иногда конструктор яхты считает возможным применить балласт из разнородных материалов, например, заполнить киль спрессованным металлическим ломом, а пространство залить расплавом свинца или жидким цементом.

Армоцементные яхты удивительно стойки против ударов. Наружная обшивка, изготовленная по всем правилам, обладает достаточной эластичностью, и нужны очень высокие перегрузки,

чтобы вызвать повреждения армоцементной яхты. Аварии на армоцементных яхтах в большинстве случаев происходят из-за вмятин в обшивке. В месте вмятины появляется множество тонких трещин паутинообразного вида и через поврежденное место начинает просачиваться вода. Течь появляется только при самых тяжелых авариях, при таких же повреждениях, как и у всех строительных материалов, будь-то сталь, алюминий, дерево, пластмасса или армоцемент. Дефекты в армоцементной наружной обшивке можно сравнительно просто устранить. В поврежденном месте бетон разбивают молотком и тщательно удаляют его осколки из проволочной сетки. При разбивании бетона с обратной стороны обшивки необходимо держать тяжелый молоток или стальную плиту. После того как все частицы бетона убраны, края пробоины наружной обшивки замазывают эпоксидным клеем. Омоноличивание поврежденного места выполняют так же, как и процесс бетонирования основного корпуса. При большом объеме ремонта после бетонирования нужно обеспечить увлажнение обшивки в течение нескольких дней. Если у вновь построенной яхты из армоцемента из-за каких-либо дефектов появляются тонкие трещины, их надо ремонтировать по вышеописанной схеме.

Безукоризненно построенный армоцементный корпус стоек к морской и пресной воде и почти неограниченно долговечен. Поэтому его *окраска* имеет целью придать яхте привлекательный внешний вид и воспрепятствовать обрастанию подводной части яхты. Краску можно наносить только на абсолютно сухую и чистую поверхность армоцемента. При выборе добавочных смесей надо, кроме всего прочего, обращать внимание на то, чтобы они гармонировали с окраской.

Для подводной части судна и всех внутренних поверхностей, расположенных ниже ватерлинии, рекомендуется использовать грунт на эпоксидной основе, который наносят на специальный грунт, обладающий высокими адгезионными свойствами. Надводный борт яхты и все поверхности, подлежащие декоративной окраске, лакируют эпоксидным лаком, который наносят на грунт и, где требуется, на эпоксидную шпаклевку. Внутренние поверхности армоцементного корпуса, расположенные выше надводного борта, как правило, не окрашивают. Армоцементные яхты, построенные чисто и правильно окрашенные, едва ли можно отличить от обычных яхт.

Описанный метод постройки армоцементных яхт (обычный) связан, к сожалению, с относительно большими затратами труда. Для коммерческого строительства яхт из армоцемента он малопригоден. Стремление упростить этот метод привело к созданию новых способов постройки, общее у которых состоит в том, что от каркаса шпангоутов, требующего больших затрат труда и определяющего при обычном методе постройки обводы яхты, отказались. Вместо него решетку из арматурной стали и



слои проволочной сетки укладывают на пуансон из реек. При осторожном обращении пуансон после отвердевания бетона можно убрать и затем вновь использовать. Но чаще всего остаются невредимыми только поперечные лекала пуансона, а продольные рейки приходится по отдельности выламывать из бетона.

Армоцементные яхты, построенные по пуансону, только тогда удовлетворяют требованиям прочности, когда есть гарантия, что системы днищевых флоров, рамных шпангоутов и палубных стрингеров вставлены в корпус безупречно и что бетон достаточно уплотнен (пустоты возникнуть не могут). Именно в этом слабое место большинства систем и любителей следует предупредить от слишком оптимистической оценки. Но вполне вероятно, что с появлением новых технологических методов и новых материалов создадутся иные возможности для постройки яхт из армоцемента.

# ГЛАВА 6. ПОСТРОЙКА ЯХТ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА

## 6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

С середины 50-х годов, т. е. в течение последних 25—30 лет, в Европе строят яхты из стеклопластика. В ФРГ яхты из этого материала начали строить примерно с 1960 г. Этому способствовал быстро растущий спрос на яхты и связанный с ним переход к технологии серийной постройки. Первоначальное недоверие к новому строительному материалу быстро прошло, и стеклопластик благодаря своим характеристикам прочности и долговечности стал вытеснять с рынка традиционные строительные материалы: дерево, сталь и алюминий. В настоящее время из этих материалов строят в основном яхты по индивидуальным проектам прежде всего потому, что пластмассовая яхта вследствие высоких расходов на изготовление оснастки значительно дороже деревянной или металлической.

Мнение, что яхты из пластмасс прочны и не требуют ухода, можно оспаривать. Многое в использовании нового материала было переоценено и вследствие этого оптимальные размеры лодок из стеклопластика были определены лишь грубо приближенно. Но такие типы лодок быстро исчезли с рынка. Выражение «не требующий ухода» надо опустить; пластмассовые яхты требуют ухода. Эти работы, правда, ограничиваются мытьем корпуса и полировкой обшивки. Исключаются дорогостоящие ежегодные лакировочные и ремонтные работы, необходимые для деревянных яхт. Промышленность выпускает пластмассы

значительно улучшенного качества, особенно синтетические смолы для палуб, так что о большинстве пластмассовых яхт можно говорить, как о судах «требующих лишь незначительного ухода». Почти все пластмассовые яхты построены из армированных стекловолокном пластмасс, связующим для которых является ненасыщенная полиэфирная смола.

## 6.2. МАТЕРИАЛЫ

Под собирательным понятием «пластмасса» различают дюро- и термопластмассы. Дюропластмассы представляют собой синтетические смолы, усиленные (или армированные) стекловолокном. Термопластмассы получили распространение в серийном производстве маленьких лодок.

Для постройки яхт применяют преимущественно ненасыщенные полиэфирные смолы (ИР-смолы), а иногда эпоксидные смолы (ЕР-смолы). Те и другие представляют собой термореактивные пластмассы, которые при комнатной температуре в сочетании с реактивными средствами (отвердителями) переходят в твердое состояние и даже под действием тепла не могут вновь принять жидкое состояние. При температуре 80°С отверждение происходит без ускорителя; для отверждения при комнатной температуре к полиэфирной смоле надо добавить кроме отвердителя еще и ускоритель.

Отдельные качества эпоксидных смол превосходят свойства полиэфирных, однако более высокая цена и сложная обработка эпоксидных смол не оправдывают их применения для постройки яхт.

*Полиэфирные смолы* можно изготовить так, что они будут удовлетворять самым различным требованиям. Изготовитель смол может влиять на такие их свойства, как реакционность при отверждении, устойчивость формы к нагреву, прочность на разрыв и прочность на изгиб, текучесть при ударе, эластичность, термостойкость, тиксотропность и др. Для постройки яхт применяют стандартные смолы со следующими минимальными показателями (данные для неармированной смолы): прочность на разрыв 50 Н/мм²; прочность на изгиб 80 Н/мм²; модуль нормальной упругости при изгибе $E = 3500$ Н/мм²; относительное удлинение при разрыве $\delta = 2{,}0\%$; средняя плотность 1,15 г/см³. В последнее время для постройки яхт рекомендуют полиэфирные смолы на основе изофталовой кислоты. Они отличаются повышенной механической прочностью и лучшей устойчивостью к кислым, нейтральным и щелочным растворам, а также к теплу. Рекомендуют использовать, особенно для наружных покрытий корпуса, изофталополистиреновую смолу. Для всех слоев применять эту дорогую смолу нецелесообразно.

Трудновозгораемые и самозатухающие смолы получают путем введения химических добавок или примесей. Эти примеси и добавки, как правило, снижают прочность исходной смолы. Поэтому смолы этого типа применяют только для особых целей, например, для спасательных шлюпок танкеров или облицовки моторных отсеков.



Для наружного декоративного слоя используют текучие полиэфирные смолы. Их применяют также в качестве защитного слоя для покрытия внутренних поверхностей обшивки. Появление тонких трещин на поверхности корпусов в первые годы постройки пластмассовых яхт часто объяснялось применением слишком хрупких смол для наружного слоя. Смолы должны обладать тиксотропностью (вязкостью), чтобы при обработке вертикальных наружных поверхностей можно было наносить смолу равномерным слоем одинаковой толщины. Смола для декоративного слоя должна хорошо смешиваться с красящим веществом — пигментом и обладать светостойкостью при эксплуатации. Окрашенную смолу наносят также как заключительное покрытие на внутреннюю поверхность обшивки, когда завершается ее формование.

*Эпоксидные смолы* имеют более высокую прочность, лучшую устойчивость и меньшую усадку, чем полиэфирные смолы. Так как цена эпоксидной смолы примерно в три раза выше цены полиэфирной, ее применение до сих пор ограничено только немногими областями. Она, например, используется для постройки некоторых классов гоночных швертботов, где важна высокая точность размеров и малая масса судна. Другая область применения — это изготовление форм, матриц для формования корпусов, когда важны малая усадка и хорошие адгезионные свойства.

В затвердевшем состоянии эпоксидные смолы имеют следующие характеристики: прочность на разрыв 70 Н/мм²; прочность на изгиб 120 Н/мм²; модуль нормальной упругости $E = 2000$ Н/мм²; относительное удлинение при разрыве $\delta = 3\%$; средняя плотность 1,80 г/см³. Этим преимуществам, однако, противостоят немалые технологические трудности по использованию эпоксидных смол. Время их отверждения зависит от температуры и количества примесей в большей степени, чем полиэфирных смол. Более высокая вязкость является причиной большей продолжительности пропитывания стеклонаполнителя. Пропорции составляющих связующее компонентов, указанные изготовителем смолы, надо выдерживать очень точно. При переработке эпоксидных смол большое значение имеет организация вентиляции для удаления ядовитых выделений. У людей, работающих с эпоксидными смолами, наблюдаются явления аллергии. В связи с этим обработку эпоксидных смол можно проводить только в мастерских, условия в которых строго контролируются, и поручать специалистам, имеющим достаточный опыт обращения с этим материалом.

Для отверждения полиэфирных смол необходим *отвердитель* (катализатор), способствующий полимеризации смолы в

процессе реакции между ненасыщенной полиэфирной молекулой и мономерным смачивающим средством. Кроме отвердителя для начала полимеризации требуется или нагрев до высоких температур (80—100°С), или использование ускорителей. В случае холодной полимеризации при температуре 15—25°С (обычной при постройке яхт) начало процесса возможно только при добавлении *ускорителя*. Реакция идет автоматически с выделением тепла и не может быть прервана. Смола сначала желатинизируется и затем превращается в твердое вещество. При отверждении смола получает усадку на 5—8%. Усадка может быть уменьшена путем армирования стекловолокном и еще больше снижена применением наполнителя. В качестве отвердителей применяют органические перекиси, в качестве ускорителя в зависимости от вида перекиси — определенные соединения тяжелых металлов. При постройке яхт, как правило, применяют перекиси кетона в сочетании с кобальтовыми ускорителями. Для отверждения при температуре 15°С используют перекись бензола с аминовым ускорителем.

При хранении и обработке отвердителей и ускорителей надо строго соблюдать инструкции заводов-поставщиков. Все органические перекиси содержат кислород, необходимый для их горения, уже в связанной форме и, следовательно, являются легко воспламеняющимися веществами. Необходимо учитывать разъедающее действие многочисленных органических перекисей на кожу человека и слизистые оболочки. При попадании в глаза многие из них могут вызвать тяжелые повреждения глаз.

Добавлением соответствующих *замедлителей* (ингибиторов) можно продлить время желатинизации и тем самым увеличить время достижения конечной формы при полном отверждении. При определении долей отвердителя, ускорителя и замедлителя в связующем надо учитывать ряд факторов: типы смол, способы изготовления конструкции, вид и размер деталей, толщину деталей, а также желаемое время обработки и время отверждения.

Другими добавками для полиэфирных смол являются наполнители: тальк, мел и другие порошкообразные вещества. Введением в смолу этих веществ можно значительно снизить ее усадку. Эти примеси применяют также при изготовлении шпаклевки. Тиксотропные добавки (аэрозоль или другие чистые продукты кремниевой кислоты) препятствуют стеканию смолы с вертикальных или наклонных поверхностей.

Необходимая прочность стеклопластика достигается добавлением в смолу *армирующих материалов*. Процесс введения этих материалов называют ламинированием, а конечный продукт — ламинатом. *Стекловолокно* — наиболее употребляемый армирующий материал. Силикатное стекло, служащее основой для такого волокна, содержит кроме окиси кремния и окиси бора в большом количестве окись алюминия и кальция. При постройке яхт применяют только бесщелочное стекло, содержание окиси щелочного металла в котором не превышает 1%.

Стекловолокно изготовляют с определенным диаметром отдельных волокон и практически неограниченной их длиной методом протягивания через фильтры. При этом получают первичные основные нити, которые служат исходным материалом для изготовления всех изделий из стекловолокон. Эти нити имеют диаметр 10—40 мкм. Для обеспечения адгезии между стекловолокном и смолой на нити наносят специальный состав — шлихту.

Доля массы стекловолокна во всем ламинате составляет около 30% для чистых ламинатов из матов и 55% для чистых ламинатов из стеклоткани. В среднем в конструкциях стеклопластиковых яхт достаточно 40% доли стекла.

*Ровницы* состоят из пучков стеклянных нитей, уложенных параллельно. Ровница (стекложгут) является исходным продуктом для изготовления стеклорогожи и стекловолокнистых матов. В чистом виде ровница может использоваться при постройке яхт методом напыления волокна, а также для формования местных усилений обшивки.

*Стекловолокнистые маты* имеют нетканую плоскую структуру из нарезанных беспорядочно лежащих нитей, склеенных

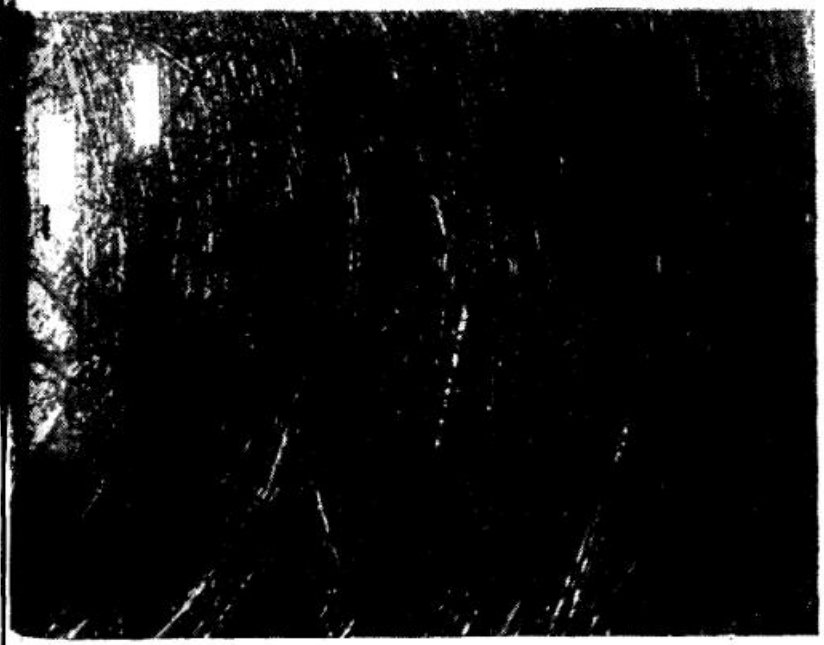


Рис. 119. Стекломат поверхностной плотностью 300 г/м².

вместе с помощью связывающего вещества (рис. 119 и 120). Стекломаты выпускаются различной ширины и массы с различными связывающими веществами (чаще всего в виде порошка). Для поверхностей с большой кривизной применяют более эластичные маты, связанные эмульсией. Для первого слоя подводной части яхты нельзя использовать маты, связанные эмульсией, так как они легче впитывают и фильтруют воду, чем связанные порошком. Ламинат с эмульсионно связанными матами не достигает прочности, равноценной с прочностью матов, связанных порошком.

*Стеклоткань* и *стеклорогожу* применяют при постройке яхт в сочетании со стекловолокнистыми матами. Стеклоткань предпочитают использовать чаще всего для наружного слоя и для небольших лодок (рис. 121). Ламинаты из них имеют самую высокую прочность при низком содержании смолы. Для более крупных лодок и яхт применяют стеклорогожу, чередуя ее со стекловолокнистыми матами.

Стеклоткань ткут из сученых или слабокрученых нитей. При постройке яхт используют только ткань из слабокрученых нитей поверхностной плотностью до 300 г/м². В местах самой большой нагрузки применяют чистые ламинаты из стеклоткани в сочетании с эпоксидными смолами, так как при укладывании

Рис. 120. Стекломат поверхностной плотностью 450 г/м².



отдельных слоев из стеклоткани один на другой возникает скольжение и ухудшается их вентиляция. Вследствие этого расходы на обработку относительно велики.

Стеклорогожа — жгутовая стеклоткань поверхностной плотностью, как правило, более 400 г/м² изготавливается с основой из ровниц (рис. 122). При постройке яхт преимущественное применение получила стеклорогожа с одинаковой прочностью по основе и утку. Для местных усилений деталей, находящихся под высокой нагрузкой, или для профилеобразных шпангоутов и стрингеров рекомендуются тканые связи из ровниц или ткани с высокой прочностью только в направлении основы. Используют также пакеты из простеганных вместе ткани и мата. Ниже приведены значения прочности отдельных ламинатов. Они относятся к затвердевшему ламинату со стандартной смолой.

Кроме стекловолокна есть и другие армирующие материалы, которые, однако, при постройке яхт до сих пор не нашли широкого применения. Например, волокна углерода обладают еще

| Армирующий материал | Мат | Стеклоткань | Стеклорогожа | Мат + стеклорогожа |
|---|---|---|---|---|
| Плотность, г/см³ . . . . . | 1,5 | 2,0 | 2,0 | 1,7 |
| Прочность на разрыв, Н/мм² | 150 | 340 | 300 | 280 |
| Прочность на изгиб, Н/мм² . . | 260 | 420 | 320 | 360 |
| Относительное удлинение при разрыве, % . . . . . | 3,3 | 2,8 | 3,5 | 3,6 |

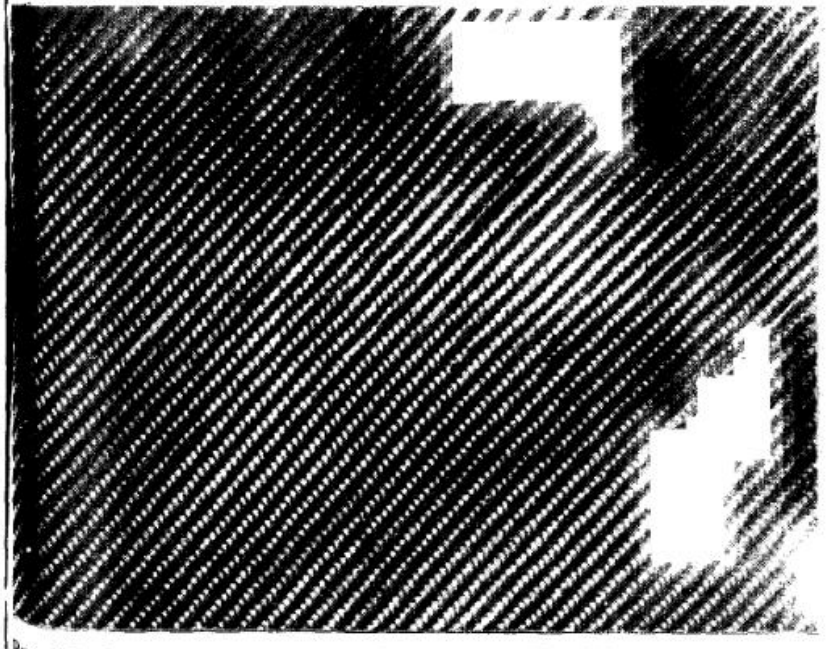


Рис. 121. Стеклоткань поверхностной плотностью 280 г/м².

более высокой прочностью, чем стекловолокно, и их целесообразно использовать для деталей, находящихся под высокой нагрузкой, но из-за высокой цены постройки крупных яхт применение углепластика считается неэкономичным.

Для придания огнестойкости в наружные слои пластика иногда добавляют асбестовое волокно или асбестовые маты. Но эти слои надо считать только дополнительными, так как они не способствуют получению необходимой прочности.

*Неармированные пластмассы* — термопласты для постройки яхт — применяют редко, за исключением тузиков и небольших швертботов, так как прочность большинства термопластов значительно ниже прочности стеклопластика.

**Механические свойства термопластов**

| Марка термопласта | Плотность сырья, г/см³ | Прочность на разрыв, Н/мм² | Относительное удлинение при разрыве, % | Модуль нормальной упругости, Н/мм² |
|---|---|---|---|---|
| ABS | 1,06 | 30—55 | 6—30 | 2 800 |
| ASA | 1,07 | 40—55 | 15—20 | 2 500 |
| PVS (жесткая) | 1,38 | 50—60 | 20—50 | 3 000 |
| LDPE | 0,92 | 10—30 | 300—1000 | 220 |
| HDPE | 0,95 | 18—36 | 100—800 | 900 |
| PA | 1,1 | 40—85 | 30—300 | 2 000 |
| GFPA | 1,39 | 90—250 | 1,5—7 | 10 000 |

Методы изготовления изделий из термопласта известны давно из приборостроения, но только благодаря созданию специальных машин стало возможным изготовлять изделия таких размеров, как корпуса лодок.

При использовании метода вращающейся плавки многослойную форму покрывают соответствующим количеством порошка пластмассы, затем крепят шурупами и приводят во вращение. Форму нагревают и порошок доводят до плавления. После охлаждения формы можно снять готовую оболочку лодки.

При вакуумном методе заготовленные листы термопласта нужных размеров укладывают в форму и уплотняют по кромкам. Отсасывая находящийся внутри воздух и подводя тепло, получают корпус лодки, обжатый по поверхности формы.

Расходы на изготовление формы для термопластовых лодок значительно выше, чем для формования корпусов из стеклопластика. Высокая стоимость этих форм является также причиной того, что до сих пор изготовляют лодки небольших размеров. Но если строить лодки из термопластов в больших количествах, то расходы на изготовление формы распределяются на число судов, и поэтому их цена оказывается значительно ниже, чем цена лодок таких же размеров из стекловолокна, изготовленных контактным методом.

Постройку яхт из стеклопластика осуществляют различными методами. *Метод ручного (контактного) формования* — наиболее известный и широко применяемый. Этим способом можно изготовлять детали (сплошные и комбинированные с использованием пенопласта, небольшие и крупногабаритные) с приемлемыми затратами на постройку формы — матрицы или пуансона. Недостатком контактного метода является более высокое содержание смолы в ламинате, так как ее можно наносить только с одной стороны армирующего материала и без применения давления. Окончательный результат зависит от опыта и умения работающих, так как слишком высокое содержание смолы или воздушные включения (пузыри) могут снизить качество изделия. При этом методе стекловолокнистые материалы — обычно маты и стеклоткань — укладывают в матрицу вручную.

*Метод напыления* состоит в том, что рубленое стекловолокно вместе со смолой разбрызгивают из распылителя на поверхность формы. От работающих в этом случае требуется внимание и осторожность, так как при различно напыленной толщине обшивки прочность корпуса неодинаковая. Поэтому при постройке яхт метод напыления применяют в сочетании с ручной укладкой слоев стеклоткани.

При *вакуумном методе* в форму вручную укладывают пропитанную смолой стеклоткань, а сверху — резиновую пленку, которую по краям формы плотно заделывают, чтобы не прохо-

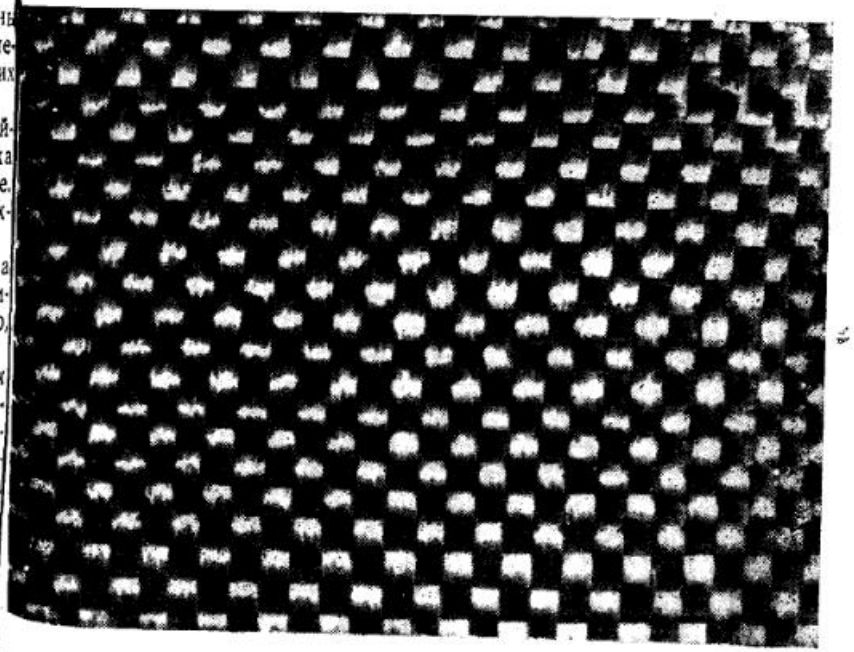


Рис. 122. Стеклорогожа поверхностной плотностью 670 г/м².

дил воздух. При отсасывании воздуха из пространства между формой и резиновой пленкой последняя плотно прижимается и опрессовывает материал. При этом методе получается равномерная толщина обшивки и отсутствуют воздушные включения.

При использовании *метода давления мешком* вместо резиновой пленки укладывают резиновый мешок, который накачивают воздухом и таким образом пакет стеклоткани прижимается к поверхности формы. Вместо мешка можно применить контрформу — пуансон и прессовать корпус также из заранее пропитанных связующим пакетов стекломатериала. Этим способом пользуются при формовании большого количества изделий. Он называется методом прессования и пригоден также для горячего формования, при котором можно сократить технологический цикл изготовления изделия.

В случае применения *метода впрыскивания связующего* также используют две формы: матрицу и патрицу. Стекловолокнистые материалы укладывают в форму сухими и смолу впрыскивают между обеими частями формы. Метод применяется при формовании самого большого количества изделий.

Наилучший метод для постройки конкретной яхты или лодки выбирают обычно экономическими расчетами. При этом первоочередное значение имеют размеры формы и число единиц, предполагаемых для изготовления. Для яхты длиной 10 м при запланированном выпуске (например, 50 шт.) выбирают способ ручного формования или его комбинацию с методом напыления волокна.

Для изготовления яхт из пластмасс нужно применять *форму* с целью придания желаемой конфигурации изделию во время отверждения. Обычно используют негативные формы, или матрицы. Негативной форма называется потому, что делается внутренней и должна быть точной по обводам и с гладкой поверхностью, а изделие, изготовляемое по ней, получается с чистой наружной поверхностью.

Только для формования изделий, изготовляемых в небольших количествах (до 5 шт.), применяют иногда позитивную форму. Детали, снятые с позитивных форм, не имеют гладкой наружной поверхности и их дорабатывают, т. е. шкурят, шпаклюют и окрашивают. Позитивные формы — пуансоны нужно, однако, делать для того, чтобы снять с них матрицы. Для постройки яхт этот метод самый употребительный, поэтому следует остановиться на нем подробнее.

*Пуансон* изготовляют обычно из дерева или гипса. Размеры его должны быть больше размеров конечного изделия — корпуса на двухразовую усадку стеклопластика: первую — при изготовлении негативной формы и вторую — при формовании самого корпуса. Припуск на усадку устанавливается на основе опыта и зависит от размеров изделия, поверхностной плотности материала и применяемой смолы. Припуск можно давать примерно 0,5% от поперечных размеров изделия. Поверхность пуансона шлифуют и полируют. Эти работы, от тщательности выполнения которых позже зависит качество поверхности изделия, требуют много времени.



*Матрицу* делают обычно из стеклопластика, формуя его по пуансону. Стремятся к тому, чтобы смолу, специально предназначенную для постройки форм и пригодную для полировки, использовать для поверхностных слоев. Эти слои окрашивают в черный цвет, чтобы позже при нанесении поверхностного декоративного слоя — чаще всего светлого тона — было легче контролировать его толщину. В качестве стеклопластика для матриц применяют преимущественно маты и стеклоткань. Тяжелая стеклорогожа (ровница) отличается большой усадкой смолы, и поэтому при изготовлении матрицы ее используют только для наружной стороны. Негативные формы больших размеров изготовляют также трехслойной конструкции — методом «сэндвича» с внутренним заполнителем из пенопласта. Это позволяет уменьшить толщину стеклопластика в наружных слоях и, следовательно, уменьшить усадку. Кроме того, трехслойная конструкция матрицы имеет то преимущество, что можно отказаться от большого числа ребер жесткости, подкрепляющих оболочку.

Обычно матрицы делают разъемными из двух или большего числа частей для удобства снятия с них готового изделия. Большие формы, однако, делят также для того, чтобы облегчить формование корпуса. Если бы негативная форма для яхты шириной 3 м и высотой 2 м да еще с плавниковым килем была сделана из одной части, то пришлось бы работы по формованию производить с висячей площадки и частично даже над головой. Уже поэтому необходимо делить большие формы.

В местах разъема формы обычно снабжают фланцами, посредством которых их собирают вместе на болтах после того как все части корпуса заформованы. Остается выполнить приформовки в местах соединений отдельных частей, чтобы получить готовую деталь. Места швов в готовой детали, выделяющиеся после снятия с формы, зашкуривают и полируют. Путем хорошей подгонки фланцев матрицы эти работы можно свести до минимума.

Стоимость матрицы для формования корпуса яхты составляет примерно 90—120% стоимости постройки яхты, поэтому с ней надо обращаться очень осторожно. Матрицы, даже если ими не пользуются, должны быть укреплены подпорками, а их полированная поверхность защищена от влияния погодных условий, пыли и повреждений. Сегодня для яхты длиной 10 м стоимостью примерно 120 000 западногерманских марок расходы на изготовление матрицы, включая пуансон, составляют

около 100 000 марок. Если при этом есть отдельные формы, например для внутренних обшивок и переборок, то стоимость оснастки может возрасти до 150 000 марок.

В стеклопластиковых матрицах яхты изготовляют методом ручного формования или методом напыления волокна, как для однослойной обшивки, чаще всего применяемой, так и для обшивки трехслойной конструкции (типа «сэндвич»), преимущественно при серийном производстве. Если в виде исключения требуется изготовить только одну яхту из стеклопластика, то нужно делать более дешевую форму. Для небольших лодок в таком случае строят матрицу из стекловолокна или даже гипса. Для больших яхт применяют даже реечный пуансон, на который кладут плиты пенопласта, служащие заполнителем между внутренним и наружным слоями из стеклоткани. Здесь же на пуансоне выклеивают наружный слой, а после снятия с реечного каркаса ламинируют внутренние слои обшивки. Приведенный пример для индивидуальной постройки корпуса нельзя рассматривать как общую рекомендацию. В зависимости от размеров лодок и способа постройки есть и другие методы изготовления специальных форм. Например, вместо реечного каркаса иногда используют набор корпуса, состоящий из продольных и поперечных связей.

Формы для изготовления изделий методами давления и прессования очень дорогие. В этом случае применяют верхние и нижние формы (матрицу и пуансон), которые, как правило, делают из металла. При использовании метода заливки пенополиуретана, при котором возникают очень высокие давления, надо применять хорошо укрепленные ребрами жесткости закрывающиеся формы. Как правило, удается изготавливать яхты, имея только две матрицы: одну для наружной обшивки и одну для палубы, надстройки и кокпита. При проектировании формы строитель лодки должен освободиться от традиционных представлений о постройке: складывать кусок за куском в единое целое. Очертания и конструкция формы должны пластично объединять в целое все отдельные детали. Если, например, в форме сделаны выступы или углубления для дельных вещей или других палубных деталей, то на этих местах во время ламинирования конструкции вклеивают местные усиления и после снятия с формы уже знают, где должны находиться дельные вещи.

В то время как на деревянном или металлическом корпусе или надстройке сложно выполнять большие закругления, на пластмассовых это делать легко. В последнем случае, наоборот, надо стремиться к тому, чтобы в конструкции не было острых углов, поскольку укладка стекловолокнистых материалов в острых углах затруднительна и именно здесь в большинстве случаев образуются воздушные включения, нарушающие прочность и водонепроницаемость оболочки.



## 6.3. МЕТОДЫ ПОСТРОЙКИ

Наиболее распространенным методом постройки яхт из пластмасс является формирование *корпуса с монолитной оболочкой*, которая состоит из армированной стекловолокном пластмассы. Изготовителю предоставляется право выбора стекловолокнистых наполнителей, будь то стекломат, стеклоткань или ровница. Обычно на поверхность матрицы наносят сначала декоративный поверхностный слой, а затем ламинируют матом или тканью поверхностной плотностью 200—300 г/м². Другие слои составляются чередованием матов поверхностной плотностью 450 г/м² и стеклоткани поверхностной плотностью примерно 700 г/м², пока не будет достигнута нужная толщина обшивки или необходимая прочность на разрыв.

Для небольших лодок с весьма выпуклыми поверхностями прочность и жесткость достигаются без дополнительных элементов жесткости — набора. Большие корпуса и особенно корпуса, состоящие из малоизогнутых поверхностей, должны иметь дополнительные элементы, обеспечивающие жесткость оболочки. На яхтах такими элементами обычно служат поперечные переборки или рамные шпангоуты в сочетании с продольными стрингерами. Хорошие результаты дает применение внутренних оболочек, которые укладывают в виде каркаса из продольных и поперечных связей в готовую наружную обшивку и склеивают с ней. При этом методе постройки детали внутреннего оборудования помещения также можно включить в состав элементов набора корпуса.

*Комбинированный метод постройки*, или «сэндвич», применяют для изготовления деталей, которые должны быть очень жесткими при относительно небольшой массе. Конструкция состоит из трех основных связаных между собой слоев и в районе действия самых высоких напряжений — с наружной и внутренней стороны — имеет армированные стеклотканью несущие слои. В качестве заполнителя между этими слоями применяют преимущественно жесткие пенопласты из поливинилхлорида или маты из бальзовой древесины. Есть и другие типы заполнителей, например сотообразные маты, продольные сплошные трубы или трапециевидные профили. Необходимо следить за тем, чтобы существовала надежная связь между заполнителем и относительно тонкими наружными слоями, так как в этом месте весьма велики скалывающие напряжения.

Механические качества древесины бальзы ненамного лучше, чем пенопласта, однако бальза сильнее поглощает воду и больше подвержена гниению. Следует применять пенопластовые плиты только с минимальной плотностью 60 кг/м³. Так как пенопласт растворяется стиролом, то плиты перед оклеиванием стеклотканью необходимо покрывать быстротвердеющей полиэфирной смолой или эпоксидной смолой.

Толщина среднего слоя из пенопласта не должна превышать 2,5-кратной толщины обоих наружных слоев, иначе адгезия пенопласта с наружным слоем не будет достаточно прочной. При использовании бальзы толщину заполнителя можно увеличить, но тогда деталь, по сравнению с пенопластовой, становится слишком тяжелой, так как плотность бальзовой древесины составляет около 145 кг/м³.

Трехслойную конструкцию, изготовленную иным способом, применяют для постройки открытых швертботов. В этом случае наружный корпус и верхнюю часть формуют отдельно от внутренней оболочки и потом склеивают вместе. Пустые пространства между ними заполняют пенополиуретаном (жидким самовспенивающимся пластиком). При этом необходимо следить за тем, чтобы не возникали слишком высокие давления, которые могут деформировать корпус.

*Метод заливки пенополиуретана* особенно эффективен и применяется, например, для изготовления корпусов катамарана «Торнадо». Оснастка состоит из наружной и внутренней форм, которые должны быть выполнены очень прочными, так как при заливке пенополиуретана в пространство между ними давление достигает 2,5—3 кгс/см². Лодки, построенные по этому методу, имеют высокую прочность, и их корпус обладает упругими свойствами при ударах. Этот метод окупает себя только при постройке большого количества лодок, так как затраты на изготовление формы примерно в восемь раз больше, чем при изготовлении матрицы. Экономичным использованием формы считается съем 200 корпусов в год (один корпус за рабочий день). Поэтому размеры изготовляемых этим методом лодок ограничены. Кроме того, затруднено внесение изменений в формы, как это можно делать на матрицах для контактного формования.

Стеклопластиком покрывают и новые яхты, но преимущественно старые деревянные яхты. Если для новых яхт *покрытие* надо рассматривать как улучшенную окраску, то для старых яхт оно предназначено только для продления срока службы. Недостатки, выявившиеся с течением времени у деревянных лодок, покрытых пластмассами, надо отнести за счет непрофессионального выполнения этой работы. Как при постройке яхт из пластмасс, так и при покрытии деревянных лодок надо строго соблюдать технологические инструкции и проводить все работы в помещении с постоянной температурой. Кроме того, саму лодку следует так подготовить, чтобы была гарантирована безупречная адгезия стеклопластика к дереву. Корпус надо полностью освободить от старой краски, масляные места обезжирить, все дельные вещи снять и после нанесения покрытия вновь смонтировать. Перед покрытием корпус должен хорошо просохнуть. Затем его обрабатывают механической шкуровальной машиной грубой шкуркой. Для лучшего сцепления рекомендуется обработать поверхность диагональным строганием с помощью рубанка с зубчатым резцом и высверлить на глубину 3 мм отверстия диаметром около 5 мм. Только после этого можно приступать к нанесению покрытия. Особенно пригодна для этих целей эпоксидная смола благодаря своим хорошим клеящим свойствам.

В качестве армирующего слоя кладут сначала стеклоткань поверхностной плотностью примерно 200—300 г/м² и потом попеременно стекломаты и ровницу с эпоксидной смолой. У лодок с недостаточно жестким корпусом и тонкой обшивкой покрытие должно состоять примерно из шести слоев, для новых лодок достаточно обычно двух-трех слоев. При использовании полиэфирной смолы наружную обшивку предварительно покрывают подходящим грунтом для лучшего сцепления. После покрытия стеклопластиком корпус шкурят, шпаклюют и окрашивают одним или двумя слоями краски на полиуретановой основе. Расходы на покрытие деревянных корпусов пластмассой довольно значительные, поэтому всегда надо заранее рассчитывать, окупятся ли они в дальнейшем.

### 6.3.1. Оборудование

При постройке яхт из пластмасс непременным условием является оборудование *специальных цехов и складов*. Прошли времена, когда лодку из пластмассы строили где-нибудь в углу цеха. Сейчас лодки, построенные в таких условиях, уже не могут отвечать предъявляемым требованиям. Конечно, и для постройки яхт из металла и особенно из дерева оборудование мастерских должно отвечать повышенным требованиям, однако к помещениям для строительства и хранения яхт из пластмасс предъявляются совершенно особые требования.

Германский Ллойд как административное общество по наблюдению за постройкой и приемкой лодок и судов дает разрешение на постройку яхт из пластмасс, которые должны получить свидетельство на приемку только в том случае, если предварительно осмотрены и одобрены мастерские. Помещения, предназначенные для постройки лодок из пластмасс, должны быть хорошо изолированными, отапливаемыми, без сквозняков. В них необходимо постоянно поддерживать минимальную температуру +18°С и максимальную влажность воздуха не выше 65%. Хорошо зарекомендовали себя термостатически регулируемые установки центрального отопления с дополнительными вентиляционными вытяжными устройствами. При использовании центрального отопления можно достичь особенно низкой влажности воздуха. Обогрев помещения нагнетателем теплого воздуха не совсем благоприятен для поддержания требуемой влажности воздуха и, кроме того, при таком обогреве происходит взметание пыли.

В мастерских, где производится формование, должны быть установлены термографы и гигрографы. Показания этих приборов являются гарантией для безупречного отверждения ламината. Ни в коем случае нельзя выключать отопление вне рабочего времени, так как примерно при +12°С в зависимости от примеси отвердителя или ускорителя отверждение ламината прерывается и его можно возобновить только при температурах выше +25°С. В этом случае требуется выдержка изделия при температуре 40—50°С примерно в течение восьми часов.

Важна также вентиляция мастерских и отсос паров от мест, где при отверждении выделяются пары стирола. При сильной концентрации пары стирола разъедающе действуют на кожу и органы дыхания. Людей, у которых эти газы вызывают аллергию, не следует допускать к работе со стеклопластиком. В мастерских, где производится ламинирование, по возможности не должно быть пыли. Шкурование, напыление волокон и окраску нужно выполнять в особых помещениях. На больших верфях смолы следует приготовлять в отдельном помещении. Их надо держать холодными в закрытых сосудах и хранить, защищая от света. Температура на складе не должна превышать 20°С. Отвердители, ускорители и растворители хранят в темных прохладных помещениях при температуре ниже 20°С отдельно друг от друга. Склады и помещения для приготовления смолы должны быть огнестойкими и отделены от всех других помещений. Электрическое оборудование следует применять взрывозащищенного типа. Склады и мастерские должны быть приняты компетентной службой надзора предприятия.

Стекломаты и стеклоткань нужно хранить в отдельном помещении и защищать от повышенной влажности. На больших предприятиях следует выделять также отдельное помещение для развертывания и раскраивания матов и тканей. При обработке и хранении смол, отвердителей, ускорителей, растворителей и т. д., надо, кроме всего прочего, соблюдать инструкции химической промышленности, чтобы избежать явлений, вредных для здоровья работающих, и опасности возникновения огня. При постройке яхт из пластмасс непременным условием является чрезвычайная чистота на рабочем месте.

*Инструменты* различают в зависимости от видов выполняемых работ. Для нанесения поверхностного слоя необходим сосуд (чаша), в котором смешивается связующее с пигментом, вместимостью около 3 л или для небольших порций кружка 0,5 л, мешалка и плоская кисть. Для нанесения связующего нужны валики из цигейки или нейлона различной ширины. Для пропитывания стеклоткани и удаления воздуха из слоев используют валики из плюша и диски с целью прикатки ткани в углах и труднодоступных местах; при формовании небольших деталей применяют кисть шириной около 50 мм. Для разрезания стекломатов и стеклоткани нужны мощные ручные и электрические ножницы. Для подготовки форм применяют дисковые шлифовальные круги с различной частотой вращения, водостойкую шкурку с размером зерна 180—600 мкм, фетровый (войлочный) диск и пасту для полировки. Разделительный слой окончательно наносят чаще всего мягкой тряпкой. Для обработки затвердевших деталей лучше всего зарекомендовали себя алмазные инструменты: сверла, фрезы, напильники, дисковые пилы и ножовки.



Инструменты, применяемые для ламинирования, нужно перед каждым перерывом в работе основательно промывать в ацетоне. Валик или кисть, один раз затвердевшие, уже теряют необходимые качества. Следует помнить, что ацетон легко испаряется и также легко воспламеняется. Хранить ацетон или промывать им инструмент можно только в огнестойком помещении.

На крупных предприятиях процессы изготовления пластмассовых судов частично механизированы. Для нанесения поверхностного слоя имеются *распылители,* которые из-за сильного образования паров нельзя применять без отсасывающего устройства. Существуют различные распылители, работающие от баллона со сжатым газом.

Широко распространены установки для напыления стекловолокна, которые одновременно впрыскивают разрезанные мелко стеклонити и два компонента связующего: один с примесью отвердителя, другой с примесью ускорителя. Недостатком этих установок является насыщение воздуха помещения мельчайшими нитями стекловолокна и каплями смолы, в связи с чем необходимо предусматривать отсасывающее устройство.

Существуют простые станки для пропитывания матов. С помощью комбинированного насоса через смесительную камеру в сопло нагнетаются смола с предварительно введенным в нее ускорителем и отвердитель. Вращающимся валиком из цигейки связующее наносится на стекломатериал. Этот станок целесообразно использовать в том случае, когда нельзя работать методом напыления и когда необходима укладка слоев из матов и стеклоткани. В смесительной машине смола с предварительно введенным в нее ускорителем смешивается с отвердителем и затем смесь разливают в различных количествах для ламинирования вручную.

Для изготовления очень больших деталей используется установка для пропитывания матов и тканей. Мат или ткань или несколько слоев сразу проходят через ванну со связующим, а затем через отжимные валики, снимающие излишек смолы, и подаются в матрицу для ламинирования.

Все эти приспособления сокращают трудоемкость изготовления корпуса и позволяют достигнуть такого же качества работ, какое обеспечивается при контактном методе формования. Экономическую целесообразность применения приспособлений

надо для каждого случая продумывать и калькулировать. При расчете *прочных размеров* набора и обшивки лодок или яхт из стеклопластика конструктор должен, с одной стороны, учитывать все силы, действующие на корпус, а с другой — иметь данные о прочности стеклопластика и размерах связей. Ламинат и связи нужно рассчитывать с коэффициентом надежности примерно в 4—6 раз бо́льшим, чем это требуется для обеспечения прочности на разрыв.

Так как у стекловолокна относительно низкий модуль нормальной упругости, элементы жесткости надо распределить по всей площади сетеобразно. Следует продумать, что выгоднее — применить продольную систему набора или поперечную. Только небольшие корпуса, имеющие значительную кривизну поверхностей обшивки, получаются достаточно жесткими без дополнительного набора. Силы, действующие на корпус яхты, можно определить либо на основании опытных данных, либо путем расчета. Сначала надо учесть гидростатическое давление, которое возрастает пропорционально глубине погружения, затем динамическую нагрузку от воздействия волны и особенно динамическую нагрузку, обусловленную скоростью судна, которая достигает у глиссирующих катеров больших значений. Возможно появление местных нагрузок, например в виде реакций стоячего такелажа, от массы балластного киля или швертового колодца и, кроме того, нагрузок от вибрации у фундаментов под двигатель. Эти силы частично накладываются одни на другие и их трудно рассчитать. Поэтому конструктор и классификационное общество полагаются на данные, которые зависят от размеров яхты, и берут эти данные за основу расчета.

Правила Германского Ллойда для постройки и классификации пластмассовых яхт основаны на расчетах и данных опыта. Они переработаны в 1972 г. Конструктор может руководствоваться этими правилами при определении толщины ламината или размеров связей. В постройке пластмассовых яхт получила распространение конструкция корпуса с продольными стрингерами, опирающимися на поперечные переборки или рамные шпангоуты. В таблицах Германского Ллойда определены необходимые расстояния между продольными стрингерами и шпангоутами и их поперечные сечения.

По многим причинам, например для обеспечения более высокой жесткости и улучшения тепловой изоляции, палубы часто изготовляют трехслойной конструкции. В районе крепления вант-путенсов, киповых планок и уток, где действуют сосредоточенные усилия, допускается не применять заполнитель из пенопласта, а наружный слой укладывать прямо на внутренний.

Руководством для рабочего является конструктивный чертеж с продольным и поперечными разрезами яхты. На нем



указаны все переборки, продольные и поперечные связи набора, палуба с рубкой и соответствующими связями. Здесь же приведены толщины переборок и данные о смоле для поверхностного декоративного слоя и для формования всей конструкции.

### 6.3.2. Изготовление конструктивных деталей

Конструкции яхт из пластмасс за период около 20 лет претерпели значительные изменения. Совершенствовались типовые узлы, пополнялись знания о применяемых материалах, в связи с необходимостью изготовления большого количества яхт велись поиски экономичных конструкций и рациональной технологии. Вначале формовали только корпуса яхт и считали это большим достижением. Стрингеры, палубы и надстройки выполняли традиционным способом. Вскоре из нового материала стали изготовлять также палубы, надстройки, комингсы и люки. Постепенно отвыкли и от того, что корпус яхты состоит из отдельных частей, подогнанных и соединенных друг с другом. Яхты из пластмасс стали собирать из отдельных секций, как это делают в крупном стальном судостроении. Снабжают эти секции дельными вещами и деталями внутреннего оборудования и собирают из них яхту. На рис. 123 и 124 можно видеть типовую конструкцию 9,6-метровой парусной яхты «Корнет-32» из стеклопластика, на рис. 125 — характерные конструктивные узлы и соединения пластмассовых яхт. Соединение палубы с корпусом, выполненное по типу *а* (рис. 125) с прессованным профилем — фальшбортом, преимущественно применяется для яхт средних размеров. Узел *б* характерен для небольших яхт и швертботов. У палубы фланец направлен вниз, а у корпуса — наружу. Соединение выполняется клееным на полиэфирном или эпоксидном связующем. Полосы мата, наформованные изнутри на стык, обеспечивают более прочное соединение. Соединения *в* и *г* применялись на парусных яхтах несколько лет тому назад. Деревянная планка в соединении *в* служит одновременно фальшбортом — упором для ног, а в соединении *г* — планширем. Узлы *д* и *е* применяются главным образом для моторных яхт и катеров. Стык в соединение *д* закрыт буртиком; в соединении *е* буртик и фальшборт отформованы из пластмассы. Места соединений во всех случаях грубо зашлифовывают и затем покрывают специальным клеем на полиэфирном или эпоксидном связующем. Также во всех узлах важно обеспечить точную подгонку и достаточное давление запрессовки.

На рис. 126 представлены виды конструктивного исполнения привальных брусьев. В варианте *а* резиновый профиль или профиль из поливинилхлорида крепят через металлическую полосу, находящуюся внутри профиля. В полосе просверлены отверстия с резьбой, в которые ввинчивают винты для крепления

профиля к борту. В варианте *б* профиль только приклеен и требует тщательной подгонки к поверхности борта. В варианте *в* брус имеет вид профиля с пропущенной снаружи металлической планкой для крепления. Эта конструкция по сравнению с вариантом *а* имеет то преимущество, что крепление можно осуществлять на шурупах или винтах и не нарезать резьбу в планке. В вариантах *г* и *д* используются профили с пазом. Их надевают на фланцевое соединение палубы с корпусом и склеивают. В варианте *е* ламинированный деревянный брус защищен снаружи металлической полукруглой планкой. Брус устанавливают на соединение палубы с корпусом и крепят на сквозных винтах к металлической полосе. Такое исполнение применяют почти исключительно на рабочих лодках.

На рис. 127 показаны распространенные конструкции продольных стрингеров. В варианте *а* стрингер состоит из полу-

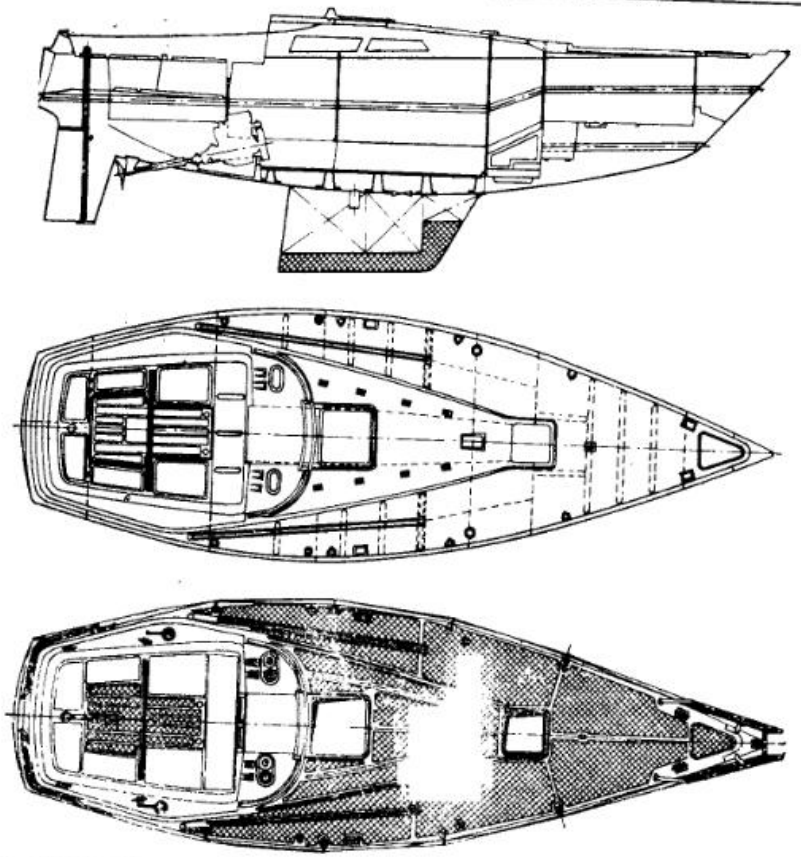


Рис. 123. Конструктивный чертеж парусной яхты «Корнет-32»



трубы как несущего профиля с наформованными на нем полосами из стеклоната. В вариантах *б* и *в* стрингеры сделаны из пенопластового стержня — оформителя, также обклеенного полосами мата. Стрингер типа *в* расположен так, что к нему можно крепить часть оборудования. Но чаще всего выбор останавливают на варианте *а*, так как в полом пространстве стрингера можно прокладывать провода и кабели.

Поперечные сечения корпуса в районе фундамента под двигатель представлены на рис. 128. Во всех трех поперечных разрезах показаны две параллельно расположенные продольные балки из стеклопластика с закрепленной сверху металлической полкой. Вариант *а* изготавливается в виде целой детали с расположенной между балками масляной ванной и наружными фланцами для склеивания. Наружные фланцы дополнительно обклеивают полосами стеклоната. В варианте *б* фундамент

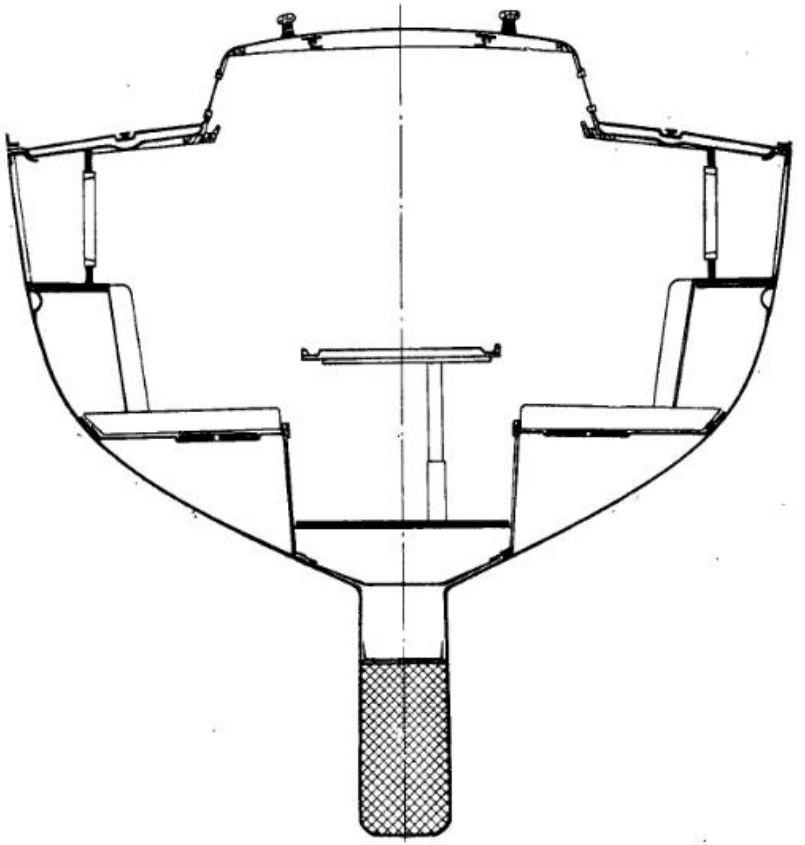


Рис. 124. «Мидель-шпангоут» парусной яхты «Корнет-32».

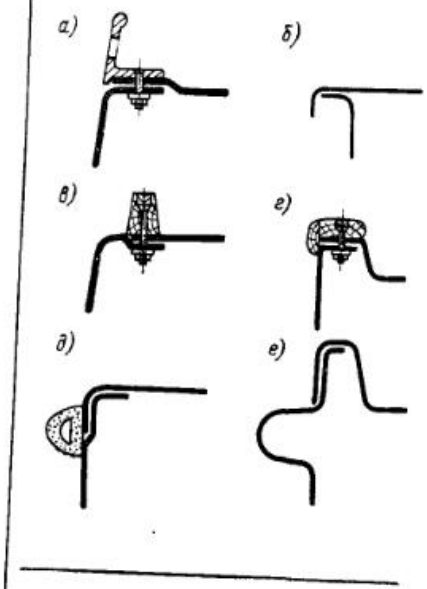



Рис. 125. Узлы соединения палубы с корпусом.

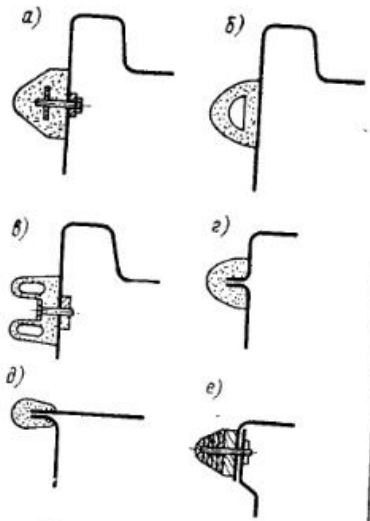
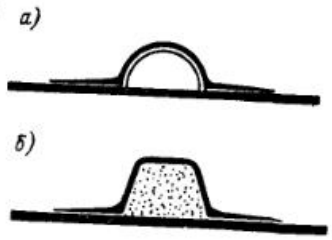



Рис. 126. Крепление привальных брусьев к корпусу.



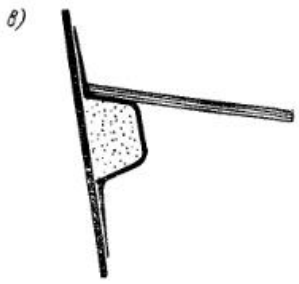




Рис. 127. Конструкции стрингеров.

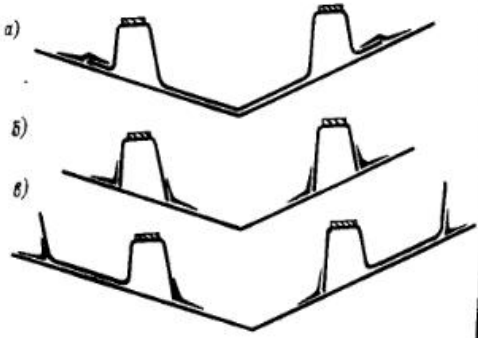



Рис. 128. Поперечные сечения по фундаменту для двигателя.



состоит из двух отдельно подогнанных к корпусу продольных балок, которые приформовывают к днищу полосами мата. Эту конструкцию применяют только в том случае, когда нецелесообразно изготовление матрицы для формования цельного фундамента (вариант *а*). В варианте *в* фундамент отформован совместно с внутренней оболочкой и с ней вклеен в корпус. Варианты *а* и *в* пригодны только для одного определенного типа двигателя, в то время как *б* — для различных типов двигателей. Все фундаменты состоят из П-образных продольных балок из пластмассы. Конструкции с вклеенными деревянными продольными балками давно устарели.

На рис. 129 можно видеть два типа рулевого устройства на пластмассовой яхте. В варианте *а* руль и плавник сделаны из стеклопластика. Баллер руля выполнен из высококачественной стали с приваренными к нему стальными ребрами для пера руля. Перо руля склеивают из двух половинок из пластмассы и заполняют полиуретановой пеной. Гельмпортовая труба изготовлена также из пластмассы и склеена с корпусом. Подшипники из бронзы вставлены в нее заранее. В варианте *б* балансирный руль полностью изготовлен из металла с баллером переменного сечения и обшивкой, приваренной к поперечным ребрам. Гельмпортовая труба выполнена также из металла и крепится к пластмассовому корпусу на болтах, пропущенных через фланцы. Эту конструкцию руля применяют пока редко.

Балластные кили на парусных яхтах чаще всего формуют совместно с корпусом и снаружи ламинируют стеклотканью (рис. 130). В варианте *а* свинцовый балласт укладывают внутрь в виде слитков, а пространства между ними (примерно 20% по объему) заполняют жидким свинцом. Для возможности заливки внутренние поверхности киля покрывают асбестовыми матами. В варианте *б* балласт также укладывают в виде слитков и пространства между ними заполняют свинцовыми шариками (дробью) диаметром 1—4 мм. Этот метод более экономичный, однако объем балласта получается чуть больше и поэтому центр тяжести оказывается расположенным несколько выше. В обоих вариантах после укладки балласта его верхнюю поверхность заформовывают стеклопластиком. Преимущество здесь в том, что сразу над балластом можно расположить цистерны для воды или топлива. В варианте *в* свинцовый киль — отливку крепят болтами, как у деревянных яхт. Этот метод дороже, чем оба предыдущих, так как необходим литой фальшкиль. При повреждениях болты могут оказаться источниками проникновения воды внутрь яхты. Преимуществом варианта *в* является более низкое положение центра тяжести, вследствие чего данный вариант предпочитают применять на гоночных яхтах.

На рис. 131 показана конструкция закрытий рундуков, расположенных под сиденьями кокпита. В варианте *а* крышка

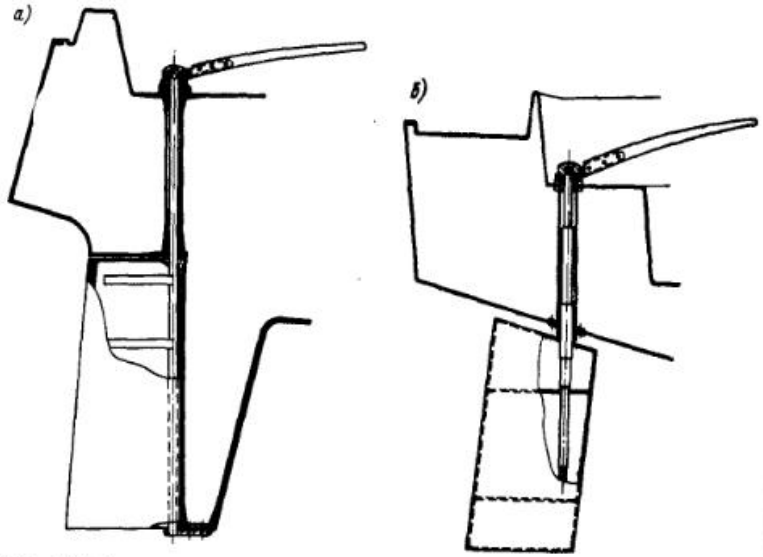



Рис. 129. Конструкции рулевого устройства на пластмассовой яхте.

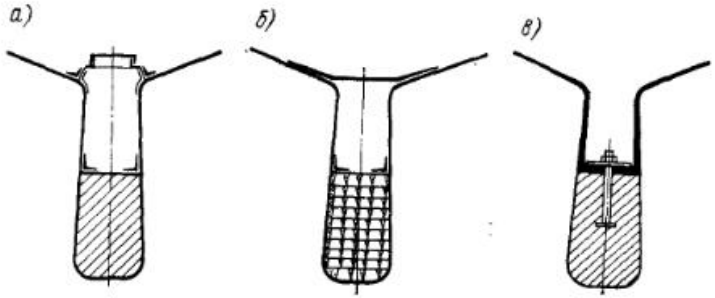



Рис. 130. Балластные кяли.

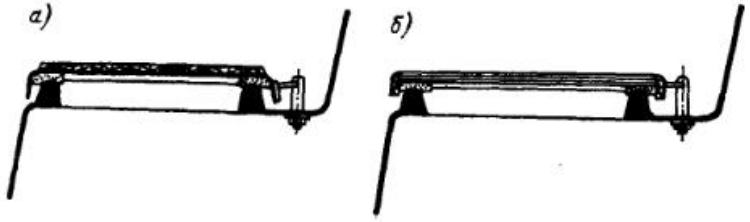



Рис. 131. Крышки рундуков в кокпите.



рундука изготовлена из пластмассы с покрытием из тика; в варианте *б* — из судостроительной фанеры. На нижней стороне крышки, покрытой эпоксидной смолой, крепится уплотнение из губчатой резины. Пластмассовый комингс отформован в обоих случаях вместе с палубой. Конструкция проста в изготовлении и гарантирует абсолютную водонепроницаемость.

На рис. 132 представлены виды исполнения сдвижного и откидного люков. На двух верхних рисунках показаны сдвижные люки в поперечном разрезе. В исполнении *а* крышка люка выступает над палубой; в варианте *б* — люк с утопленной крышкой. Крышки люков делают из пластмассы с привинченными внутри направляющими полозьями из полиамида. В варианте *а* комингс выполнен из пластмассы. Деревянная планка, прикрепленная сверху на винтах, препятствует съему крышки вверх. В исполнении *б* крышка скользит по металлическим полозьям, которые крепятся к надстройке. Конструкция *в* представляет собой светлый люк, целиком смонтированный на металлической раме, которая крепится к пластмассовому комингсу на клею и болтах.

На рис. 133 представлены различные конструкции выводов трубопроводов за борт: *а* — вывод в подводной части с забортным креплением на резьбовой муфте с запорным клапаном и шланговым штуцером из бронзы; *б* — заформованный внутрь обшивки штуцер из пластмассы, на который надевают шланг и крепят его с помощью плоского хомутика (эту конструкцию нельзя применять для подводной части, так как здесь нет запорного клапана); *в* — соединение верхнего конца трубы шпигата с палубой или днищем кокпита. При выполнении всех выводов сквозь наружную обшивку или палубу операцию присоединения шланга нужно проводить очень тщательно, поскольку в данном случае труднее достичь водонепроницаемости, чем на яхтах из дерева или металла.

На рис. 134 показаны два вида исполнения дейдвудной трубы. В варианте *а* дейдвудная труба металлическая с резьбовыми фланцами на концах; обтекатель дейдвудной трубы выполнен из пластмассы и склеен с корпусом. В варианте *б* предусмотрена опора гребного вала у винта в виде кронштейна, а труба изготовлена из стеклопластика и приформована к корпусу.

На рис. 135 показаны два вида крепления поручней. В варианте *а* опора поручня заформо-

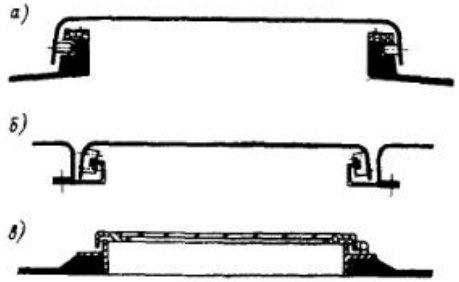



Рис. 132. Люки: сдвижной (*а* и *б*) и откидной светлый (*в*).

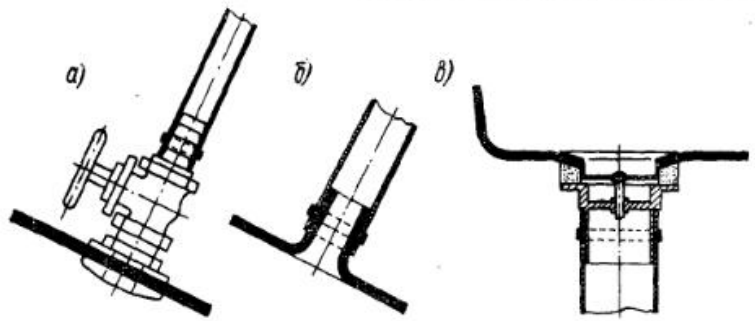



Рис. 133. Конструкции выводов трубопроводов через наружную обшивку.

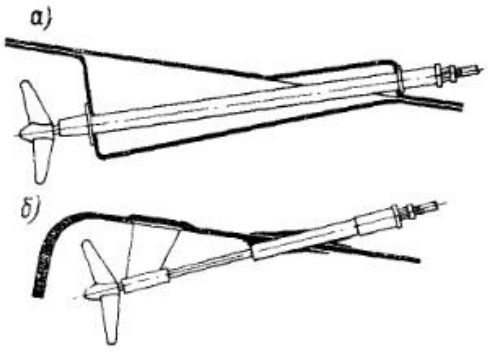



Рис. 134. Схема крепления дейдвудной трубы к корпусу.

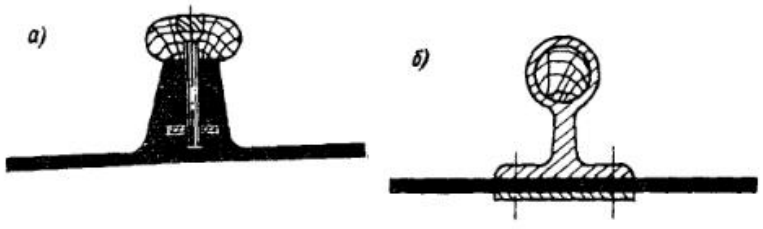



Рис. 135. Схема крепления поручней.

Рис. 136. Виды приформовки внутренних переборок из фанеры.



вана в палубу. При ламинировании закладывают металлическую пластинку, в которой потом делают отверстия с резьбой для винтов крепления поручня. В варианте *б* металлическая опора привинчена к металлической накладке под палубой.

Из рис. 136 можно получить представление о способах приформовки поперечных переборок из морской фанеры к пластмассовому корпусу. Для надежной связи переборки с обшивкой фанеру необходимо обработать грунтом на основе полиуретана, а также просверлить множество несквозных отверстий с обеих сторон. Приформовка осуществляется тремя-четырьмя слоями стеклоткани, накладываемыми в виде угольников. Накладка из широкой полосы по периметру переборки гарантирует снижение скалывающих напряжений в соединении. Вариант исполнения узла с использованием трапециевидной полосы облегчает подгонку переборки по обводу корпуса и делает соединение более эластичным.

Детали крепления вант-путенсов к корпусу можно видеть на рис. 137. Наиболее надежный вариант *а* — крепление вант-путенсов к поперечным переборкам с помощью металлической обоймы, хорошо распределяющей усилия по площади. Где невозможен монтаж поперечных переборок, надо установить продольные связи или консоли. В варианте *б*, где нет переборки, приформовывают несущую металлическую балку П-образного профиля, через которую крепят обушок вант-путенса. В варианте *в* в качестве вант-путенса используется пластина с обушком, которую привинчивают к палубе четырьмя болтами. Нагрузка хорошо распределяется на палубу и борт благодаря установке ламинированной стеклопластиковой кницы, к которой с обеих сторон прикрепляют пластины с плечами удлинения. В варианте *г* вант-путенс в виде пластины с обушком крепят через палубу к сварной пластине с двумя разнесенными в сторону плечами. После монтажа пластину приформовывают стеклопластиком к наружной обшивке. Этот вариант не так хорош, так как изгибающий момент передается на наружную обшивку и, следовательно, на место соединения. Контроль прочности или дальнейшая замена при такой конструкции затруднены. Есть еще и другие варианты, например, когда вант-путенсы в виде металлических полос с отверстием пропущены вверх через палубу и скреплены винтами с наружной обшивкой.

При всех вариантах исполнения толщину наружной обшивки и палубы у вант-путенсов надо увеличивать примерно на 25%.

На рис. 138 представлены типовые способы установки на палубе различных дельных вещей. В местах креплений при формовании палубы делают утолщения путем укладки дополнительных слоев ламината. Если палуба имеет трехслойную конструкцию, то в районе установки дельных вещей во внутреннем слое обшивки делают высадку на толщину заполнителя (рис. 138, *в*).

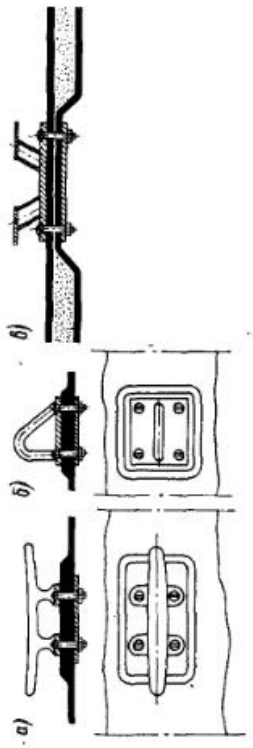



Рис. 138. Схема установки утки (*а*), обушка (*б*) и кнехта (*в*) на трехслойной палубе.

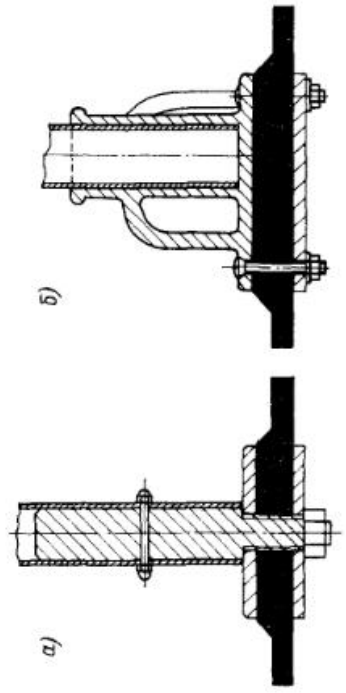



Рис. 139. Виды крепления леерных стоек.

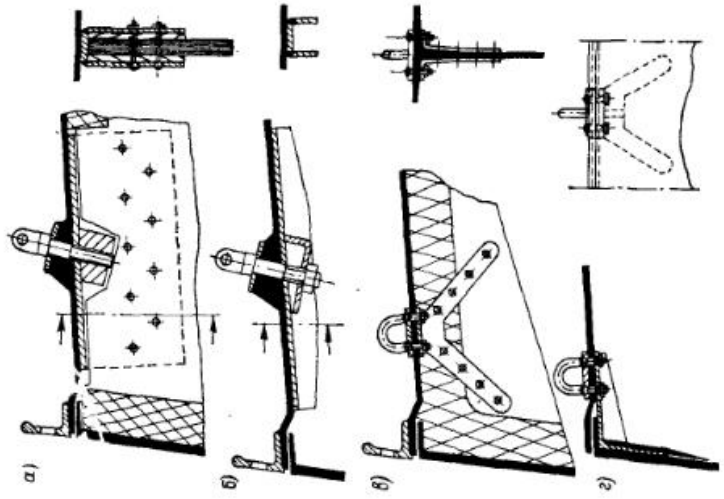



Рис. 137. Схема установки вант-путенсов.

При установке леерных стоек (рис. 139) палубу в этих местах усиливают для восприятия изгибающих моментов, которые следует ожидать при эксплуатации. В варианте *б* опора со стаканом и обушками для крепления установлена на палубу и скреплена винтами с подкладочной пластиной. При другом исполнении (вариант *а*) конец съемной вращающейся стойки с приваренной к ней пластиной вставлен в отверстие в палубе и под палубой закреплен с помощью подкладочной пластины и гайки.

Проследим *последовательность изготовления корпуса в монолитной обшивкой,* начиная от подготовки формы и кончая готовой конструкцией. Поверхность матрицы сначала обрабатывают дисковой шлифовальной машиной с зернистостью 180—400 мкм при 1800 об/мин. Затем ее предварительно полируют шлифовальной пастой при той же частоте вращения и после этого выполняют тонкую полировку шлифовальной пастой при 3400 об/мин. В результате форма приобретает блестящую полированную поверхность.

Чтобы обеспечить безупречный съем готовой детали, форму следует покрыть разделяющим средством, которое бы препятствовало соединению детали с формой. Для этой цели применяют раствор воска, масла и другие образующие пленку разделяющие средства. Еще недавно после каждого снятия готового изделия форму вновь нужно было покрывать разделяющим составом. Сегодня имеются разделяющие средства, позволяющие снимать с формы 10 и более конструкций без нанесения нового разделительного слоя. Одно из таких средств известно под названием «Поливакс». Его наносят и растирают по поверхности матрицы и после высыхания слегка полируют сухой тряпкой.

Смолу для поверхностного декоративного слоя, уже подкрашенную на заводе и с добавкой ускорителя, например 0,5% кобальта, отвешивают из расчета 500 г на 1 м² поверхности корпуса и смешивают с 2—3% отвердителя. Затем связующее наносят равномерно на подготовленную поверхность матрицы широкой кистью или пульверизатором не более чем за 20 мин, так как смола в сосуде быстро начинает желатинизироваться. Необходимо также наносить слой по возможности равномерно с максимальной толщиной 0,5 мм. Слишком толстый слой склонен к образованию трещин, а через очень тонкий слой впоследствии просвечивает темная смола армированных стекломатериалами слоев.

Если у яхты надводный борт и подводную часть надо окрасить в разные цвета, а также нанести ватерлинию, то применяют смолы с различными пигментами. Сначала оклеивают липкой лентой с верхней и нижней сторон ватерлинию, нанесенную на поверхность матрицы, и затем покрывают ее смолой необходимого цвета. Через 15—30 мин, пока смола не затвердела,

отрывают нижнюю ленту. Еще примерно через 30 мин смола затвердевает в достаточной степени и тогда можно покрывать декоративными слоями соответствующих цветов подводную часть и надводный борт. Таким образом, нет необходимости точно отбивать ватерлинию на готовом корпусе — она получается благодаря затвердевшей смоле.

Декоративный слой оставляют желатинизироваться примерно в течение часа и затем приступают к укладке в матрицу первого слоя стекловолокнистого наполнителя со связующим. Оставлять поверхностный слой затвердевать на более длительное время или на ночь не рекомендуется, так как при этом стирол испаряется и качество слоя ухудшается. Во время отверждения необходимо наблюдать за температурой, влажностью воздуха, а также отсутствием сквозняков.

В качестве первого армированного слоя применяют стеклохолст или стекломат с поверхностной плотностью не более 300 г/м². Перед укладкой стекломатериала на отвердевший поверхностный слой наносят слой связующего на основе полиэфирной смолы в количестве около 500 г/м². В полиэфирную смолу, как правило, смешанную на заводе с 0,2% кобальтового ускорителя, незадолго до нанесения вводят отвердитель. На слой связующего кладут стекломатериал и прикатывают плюшевым валиком к поверхности матрицы так, чтобы стеклохолст полностью пропитался связующим. В труднодоступных местах и углах стекломат уплотняют дисковым роликом. Необходимо следить за тем, чтобы под стекломатом не оставались воздушные включения, которые впоследствии приходится с большими затратами труда шпаклевать, шкурить и полировать.

Второй стекловолокнистый слой кладут, как и первый, пропитывают смолой. Для этого и последующих слоев применяют более толстый мат с поверхностной плотностью 450 г, или стеклоткань с поверхностной плотностью примерно 300 г/м². Количество слоев стеклоткани устанавливается по конструктивным чертежам. Если надо сделать местные усиления, то дополнительные слои кладут под последний слой, чтобы их можно было сплошь заформовать.

Связующее наносят частями с таким расчетом, чтобы желатинизация начиналась примерно через 30 мин; через два часа после полного его отверждения можно накладывать следующий слой, не повреждая предыдущий. При названных выше условиях отверждение всего ламината почти заканчивается за 24 ч, т. е. что изделие можно снимать с матрицы. Дальнейшее отверждение происходит медленнее, поэтому не рекомендуется только что отформованную конструкцию хранить на открытом воздухе при низких температурах.

Для облегчения снятия оболочки корпуса с формы обычно применяют воду, подаваемую под давлением через штуцер в зазор между поверхностью отформованного изделия и матрицы. Где это невозможно, при формовании к оболочке прикрепляют планки с отверстиями, за которые потом деталь можно отодвинуть от матрицы с помощью подъемного механизма. Как вспомогательные средства используют узкие клинья из мягкого дерева, вставляемые между формой и изделием. При затруднениях в процессе снятия изделия с формы ни в коем случае нельзя пользоваться молотком, даже резиновым, так как в этом случае повреждается ламинат. Готовую деталь проверяют на обычные дефекты и затем обрезают выступающие кромки (облой), лучше всего алмазной дисковой пилой. Только после этого можно приступить к монтажу.

Снятое с формы изделие, например верхнюю часть яхты, состоящую из палубы, каютной надстройки и кокпита, доставляют на место сборки. Здесь монтируют все дельные вещи, подгоняют иллюминаторы — словом, стараются смонтировать как можно больше деталей — и только тогда соединяют верхнюю часть с корпусом.

Для крепления дельных вещей применяют главным образом винты и болты из высококачественной стали. Дельные вещи надо ставить на резиновый уплотнитель, например, силиконовый каучук, так как неплотности в пластмассовой яхте не исчезают сами по себе, а становятся со временем еще больше. При сверлении отверстий в деталях из пластмасс используются сверла из особо твердого металла, поскольку стекловолокнистые наполнители быстро притупляют инструмент. Сверлить надо осторожно и с небольшим давлением, чтобы не разорвать стекловолокно и не допустить проникновения в слой влаги. Отверстия большого размера вырезают ножовкой. В стекловолокне кроется множество источников дефектов. Большинство из дефектов, обусловленных, как правило, недостаточно качественным выполнением работы, можно установить только лабораторным анализом. Видимые пороки обнаруживаются чаще всего в поверхностном слое (воздушные пузыри). Назовем наиболее часто встречающиеся дефекты, причины их возникновения и способы устранения.

1. Дефекты декоративного слоя:

а) воздушные пузыри (причины: недостаточная вентиляция, слишком острые углы в форме; устранение: шпаклевать густым связующим с пигментом того же цвета, шкурить и полировать);

б) тонкие трещины (причины: очень сухое связующее для поверхностного слоя, густо нанесенное, большие напряжения из-за недостаточной толщины ламината; устранение: шлифовать и вновь нанести декоративный слой или усилить ламинат);

в) «слоновая кожа» (причины: очень тонкий поверхностный слой; устранение: теми же способами, как и при других дефектах);

г) изменение окраски с течением времени (причины: недостаточная стойкость к агрессивным средам, недостаточное

отверждение из-за интенсивного испарения стирола; устранение: зачистить весь слой с последующим покрытием из шприца двухкомпонентным лаком);

д) позднее образование пузырей, как правило, в районе подводной части (причина: недостаточное отверждение поверхностного слоя или плохое его качество; устранение: шкурить грубой шкуркой, шпаклевать шпаклевкой на полиэфире с последующим покрытием из шприца).

Устранение дефектов в поверхностном слое — очень трудоемкий процесс и часто обходится намного дороже, чем применение смолы более высокого качества или постоянный контроль за правильностью выполнения работы.

Если в поверхностном слое дефекты можно сразу обнаружить после снятия с формы, то в ламинате, находящемся под этим слоем, пороки невидимы и их трудно установить.

2. Дефекты в ламинате:

а) воздушные включения (пузыри) (причины: недостаточно плотные укладка и прикатка стекломатериала; устранение: большие пузыри сошкурить и вновь ламинировать, небольшие отдельные пузыри можно оставить без внимания);

б) стекловолокнистые материалы просвечивают (причины: использовали стекломатериал, покрытый плохо растворяющимся стиролом связующим веществом, или его укладывали при высокой влажности воздуха, или отверждение проходило слишком быстро; устранение: в отдельных местах сделать местные усиления либо удалить часть детали);

в) ламинат при постукивании звенит (причины: недостаточное отверждение; устранение: выдержка около 8 ч при 50°С, если это не поможет, то деталь надо заменить);

г) на поверхности образуются через несколько лет большие пузыри, особенно в районе подводной части (причины: недостаточное отверждение, плохое качество стеклонаполнителя, который покрыт плохо растворяющимся стиролом связующим веществом; устранение: если пузыри расположены местами, то эти места усиливают дополнительным ламинированием, если на всей поверхности детали, то ее надо заменить).

Из названных дефектов и причин их появления можно понять, как трудно изготовить безупречный ламинат. Если при постройке металлических или деревянных корпусов рабочему дают уже подготовленный исходный материал, то качество талей из пластмасс в основном зависит от тщательности вы няемой работы, начиная от приготовления материала и ко контролем качества мастером. В связи с этим при изгото нии конструкций из пластмасс рекомендуется механизиро работы, производимые вручную, например, использовать ма ны для смешивания смолы и отвердителя, устройство для питывания стекломатериала или управляемые машины напыления стекловолокна.



Надо опровергнуть широко распространенное мнение, что каждый любитель после короткого обучения может сам формовать свою лодку. Следует еще раз подчеркнуть: оптимальные качества деталь приобретает только в том случае, когда все условия, начиная от выбора материала для яхты, его обработки и кончая оборудованием мастерских, выполнены.

# ГЛАВА 7. СУДОВЫЕ УСТРОЙСТВА, ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА

## 7.1. РУЛЕВОЕ УСТРОЙСТВО

*Румпель* — самая старая и простая конструкция рулевого устройства, применяемая на яхтах. Среди яхтсменов не утихают споры о том, что целесообразнее применять на небольших парусных яхтах — румпель или штурвал. Управляя за румпель, рулевой, без сомнения, лучше чувствует яхту и легко может выполнить любые маневры. Если яхта хорошо отцентрована, то не возникает никаких проблем в применении румпеля, даже для исключительно длительных плаваний. Кроме того, устройство с румпелем является самым надежным рулевым устройством. Модная тенденция применять штурвальное управление даже на небольших яхтах, где это не вызвано необходимостью, противоречит практической целесообразности.

Румпель представляет собой простой деревянный брус, обладающий достаточной прочностью и эластичностью. Его устанавливают так, чтобы между ним и банкой кокпита было самое минимальное расстояние — около 200 мм. Благодаря легкому изгибу рукоятка румпеля располагается горизонтально. Поперечное сечение румпеля в меньшей степени зависит от размерений яхты, чем от длины румпеля. Оно должно быть таким, чтобы два физически сильных человека не могли сломать румпель. У рукоятки румпель имеет круглое поперечное сечение диаметром 27—30 мм. Для яхты длиной 10 м необходим румпель длиной по крайней мере 1 м, если применяется руль обычного типа, а не балансирный (рис. 140). Для возможности поднятия румпеля вверх часто устанавливают дорогостоящую оковку.

Без особой необходимости ее применять не следует, так как у рулевого вырабатывается плохая привычка управлять яхтой, стоя с высоко поднятым румпелем, который при этом располагается почти по оси баллера руля. Нагрузка на оковку румпеля вследствие этого становится очень большой, и на баллер руля нельзя передать достаточный вращающий момент. Если

такая откидная оковка изготовлена не серийно в виде литья, а сварена или отфрезерована из сплошного куска металла, то это действительно высококачественная и дорогая деталь (рис. 141).

*Штурвальное управление с тросовым приводом* — это единственное сохранившееся до сих пор механическое рулевое устройство с редукцией. Дорогостоящие винтовые рулевые машинки исчезли только уже потому, что они работали на самоторможении и не давали возможности рулевому на парусных яхтах почувствовать судно. Тросовая передача в сочетании со штурвалом большого диаметра и малым передаточным числом — редукцией между звездочкой штурвала и рулевым сектором — удовлетворяет самым высоким требованиям и применяется почти исключительно на гоночных яхтах. Снабженное несколько более сильной редукционной передачей и штурвалом малого диаметра, это устройство рационально применять и на небольших яхтах с расположением кокпита в середине судна.

Имеет большое значение, как осуществлена проводка штуртросов. Штуртросы не должны быть видны, но к ним следует обеспечить удобный доступ. Направляющих роликов надо применять как можно меньше, чтобы трение было незначительным. Диаметр направляющих роликов должен быть равным 20-кратному диаметру штуртроса. При использовании троса из нержавеющей стали диаметр роликов целесообразно делать бо́льшим.

Передача от штурвального колеса на штуртросы осуществляется через звездочку, посаженную на оси штурвала, и специальную роликовую цепь. Эти детали должны быть немагнитными вследствие близости компаса. Роликовые цепи изготовляются из нержавеющей стали и бронзы. Часто в колонку штурвала вводят колодочный тормоз, чтобы иметь возможность установить штурвал неподвижно или с небольшим трением. Роликовая цепь при полной перекладке руля с борта на борт должна заканчиваться перед направляющими роликами, так как по таким роликам может проходить только трос.

Рулевой сектор, устанавливаемый с помощью разъемной втулки и соответствующей шпонки на баллере руля, обычно представляет собой сварную конструкцию из стали. Если конструктор не дает подробных чертежей, что бывает нередко, то верфь или любитель должны воспользоваться рекомендациями из «Правил Германского Ллойда для постройки и классификации яхт».

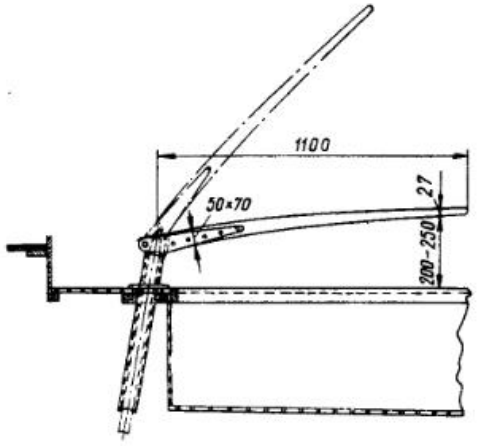



Рис. 140. Схема установки румпеля на 10-метровой яхте.

Передаточное отношение между штурвальным колесом и сектором зависит от желаемых характеристик управления. При нормальном диаметре штурвала около 600 мм на яхтах длиной менее 12 м его выбирают таким, чтобы для перекладки руля с борта на борт требовалось 2,5—3,5 оборота штурвала. Критерием при этом служит диаметр звездочки для цепи на оси штурвального колеса. Его нужно выбирать по возможности минимальным, как только позволяет размер цепи. Число зубьев, однако, не должно быть меньше 13, так как иначе невозможны работа без заеданий и достаточный срок службы.

Конструктор обычно назначает размеры цепи и штуртросов в зависимости от передачи из такого расчета, чтобы два физически сильных человека за штурвалом не смогли повредить передающую систему. Рассчитанное на эти усилия рулевое устройство получается легче, чем конструкция, предписываемая Германским Ллойдом. Опытный конструктор стремится

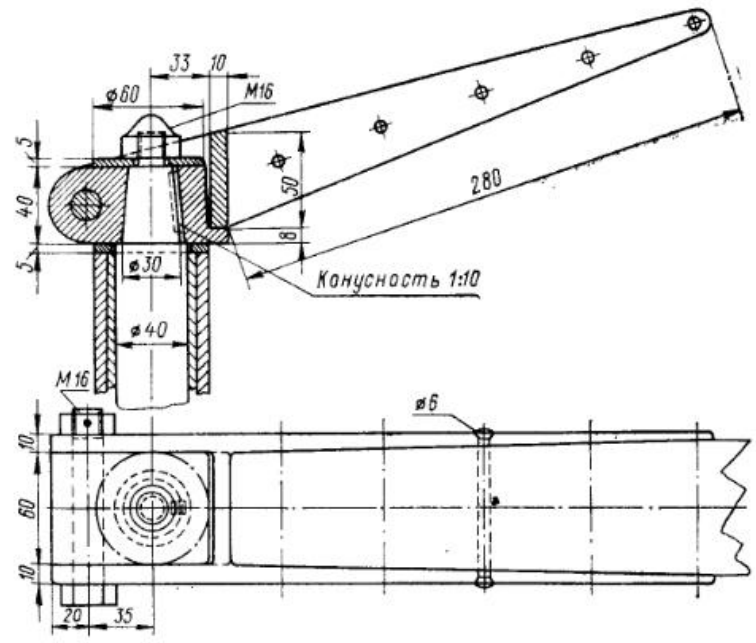



Рис. 141. Схема оковки откидного румпеля на 10-метровой яхте.

так соразмерить передающую систему, чтобы в ней не было ни одного слабого звена.

На средних и больших яхтах с штуртросовым управлением передаточное число выбирают обычно большое. Здесь допускается до восьми оборотов штурвала при перекладывании руля с борта на борт.

Штурвал современной формы изготовляется из алюминия или нержавеющей стали. Штурвал из высококачественной стали обшивают натуральной лосиной кожей для удобства управления им в сырую погоду. Романтики, не желающие расставаться с традиционным штурвалом с ручками из тика или красного дерева, вынуждены мириться с наружным обручем из металла. Это необходимо в целях безопасности.

Не только Германский Ллойд, но и здравый смысл требует маркировки на штурвальном колесе нулевого положения руля. Узел или металлическая марка дают возможность рулевому найти это положение даже ночью.

*Гидравлический привод* в кругах яхтсменов считается самым современным видом рулевой передачи. Однако широко распространенная ошибка считать, что ручное гидравлическое рулевое устройство может передать на руль большие усилия с меньшими потерями на трение. При одинаковом числе оборотов штурвала, необходимом для перекладки руля с борта на борт, получаются почти те же усилия на штурвале, как и при штуртросовой передаче. При правильно спроектированной и тщательно выполненной штуртросовой передаче потери на трение могут быть даже меньше. Дело в том, что большинство гидравлических передач работают с возвратными клапанами, снабженными пружиной, давление которой при работе штурвального колеса надо преодолеть. Благодаря возвратным клапанам передающее устройство является самотормозящим, т. е. без поворота штурвального колеса остается в однажды занятом положении. Это хорошо для моторной яхты, но для парусной нежелательно, так как теряется всякое чувство к давлению воды на руль. Если возвратные клапаны убрать из системы, названный дефект будет устранен, но зато появится новый: вследствие постоянного стремления рулевого ощущать давление на руль при плавании под парусами штурвальное колесо медленно, но постоянно проворачивается из-за неизбежного гидравлического скольжения масла. Механическая маркировка нулевого положения, следовательно, невозможна.

Этим двум недостаткам гидравлического рулевого устройства противостоит ряд преимуществ. Так, монтаж гидравлического устройства с его трубопроводами, которые можно проложить почти произвольно, исключительно прост и не требует больших затрат труда (рис. 142). Благодаря этому окупается высокая стоимость гидравлического устройства. Возможность применения двух рулевых постов, которые можно подключать по выбору простым переключением одного клапана, является еще одним преимуществом этой системы. Штуртросовое управление в этом случае нуждалось бы в сложном механическом разъединении передач. Компактность, достаточная надежность и относительно невысокая стоимость способствовали широкому применению ручных гидравлических рулевых устройств даже на яхтах длиной менее 10 м.

*Гидравлическое сервоуправление* применяют на всех больших яхтах. Насос устанавливают в рулевом отсеке и снабжают электросистемой, с помощью которой он приводится в действие из поста рулевого. Как только из рулевой рубки включается электродвигатель, сервонасос начинает накачивать масло под давлением в цилиндр привода и рулевой сектор поворачивается до конечного положения, где имеются выключатели. При этой системе говорят «об управлении, зависящим от времени». «Управление, зависящее от пути», сложнее по конструкции, так как оно действует на каскаде сигналов, которые заставляют работать рулевое устройство до тех пор, пока вращается штурвальное колесо. В первой более простой системе можно отказаться от штурвального колеса и обходиться двумя кнопками, как это принято на крупных судах.

*Аварийное рулевое устройство* рекомендуется Германским Ллойдом даже для океанских яхт. При штурвальных управлениях, независимо от того, работают ли они на тросах или гидравлической передаче, аварийный румпель солидных размеров насаживают на четырехгранный хвостовик на баллер руля так, чтобы румпелем можно было управлять с палубы. К четырехгранному хвостовику баллера руля и аварийному румпелю должен быть обеспечен удобный доступ в любое время. Для больших яхт с сервоуправлением большинство классификационных обществ требует в качестве аварийного рулевого устройства второй независимый ручной гидравлический привод с

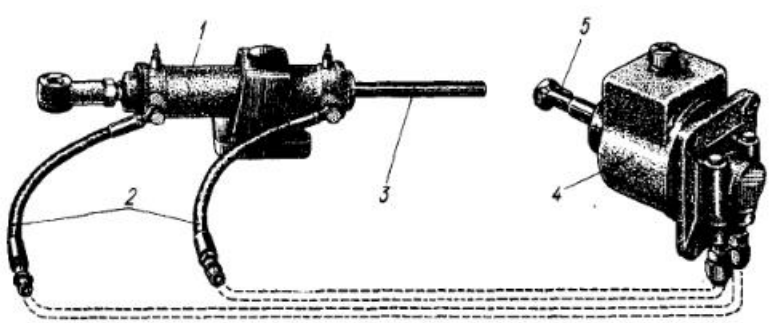



Рис. 142. Ручное гидравлическое рулевое устройство (50—1600 Н·м).
*1*—гидравлический цилиндр двойного действия; *2*—гибкие трубопроводы; *3*—рулевой шток; *4*—гидронасос; *5*—вал рулевого колеса.

мостика, если основной системой управления является электрическая. Многие большие сервоустройства включены так, что при поломке сервонасоса автоматически начинает действовать ручное гидравлическое управление.

## 7.2. ИЗОЛЯЦИЯ

*Изоляция для комфорта* — так называют изоляцию корпуса, способствующую хорошему самочувствию людей на яхте. Это в одинаковой степени относится как к изоляции от тепла, так и от холода. На большинстве яхт серийной постройки изоляция делается минимальной с той лишь целью, чтобы воспрепятствовать образованию конденсата на внутренних поверхностях палуб и крыши надстроек. На пластмассовых яхтах эту цель выполняют пенопластовые или бальзовые заполнители в трехслойных конструкциях, а на яхтах с деревянными палубами и надстройками дополнительная изоляция необязательна. На яхтах с палубами и надстройками из стали или алюминия изоляция для комфорта абсолютно необходима.

Рациональным компромиссом является изоляция только палуб и надстроек и соответственно бортов бака. Эти части яхты днем подвергаются воздействию солнечных лучей, а ночью на них образуется конденсат. Борта наружной обшивки в средних широтах не нуждаются в изоляции, если яхта не имеет кондиционера. Наружную обшивку ниже ватерлинии не изолируют, так как градиент тепла относительно небольшой и образование некоторого количества конденсата не имеет решающего значения. Неизолированные борта наружной обшивки благодаря развалу шпангоутов относительно мало испытывают воздействие тепла при высокостоящем солнце. Только по ночам при низкой наружной температуре на бортах образуется немного конденсата. Поэтому во внутренней декоративной зашивке бортов необходимо предусматривать достаточное число вентиляционных отверстий вблизи палубы и внизу. Благодаря этому конденсат при повышении наружной температуры днем быстро высыхает. Если яхта рассчитана на плавание вплоть до холодного времени года, борта наружной обшивки необходимо изолировать.

Для изоляции применяют различные материалы с разными коэффициентами теплопроводимости. Стандартными материалами являются минеральный войлок или стеклошерсть, которые поставляются в виде войлочных матов различной плотности, пропитанных синтетической смолой. Нормальная плотность составляет 40 кг/м³, а в самом легком исполнении 25 кг/м³. Другие изоляционные материалы, которые можно применять, хотя и имеют лучшие изоляционные свойства, но высоки в цене, а пробка кроме того и тяжелее. Для хорошей изоляции обычно достаточен слой минерального войлока толщиной 50 мм. Толщину изоляции из других материалов с лучшими изоляционными свойствами можно уменьшить. Толщина пенопласта, например, может быть принята по отношению к стекловойлоку с коэффициентом 0,6; пенополиуретана — с коэффициентом 0,53; пробки в прессованных листах (экспанзита) — с коэффициентом 0,62.

Изоляционные материалы вплоть до минерального войлока приклеивают к изолируемым поверхностям специальными контактными клеями, которые огнеопасны, а пробку склеивают часто также термобитумом. При монтаже изоляции важно, чтобы отдельные ее части были плотно подогнаны друг к другу во избежание образования мостиков для передачи тепла. С целью достижения первоклассной плотности изоляцию делают из двух слоев, которые укладывают с разнесением стыков. Преимуществом минерального войлока является его огнестойкость, поскольку доля смолы в материале небольшая. Пробка, пенопласт и пенополиуретан также трудно воспламеняющиеся материалы. Полиуретановая сухая пена, которую можно напылять на поверхность, взрывоопасна, и поэтому классификационные общества разрешают использовать ее лишь в крайнем случае, при условии, чтобы она с двух сторон была покрыта негорючими веществами.

Обработка минерального войлока относительно проста и может быть выполнена даже неспециалистами. Подгонка между шпангоутами и палубными бимсами проще, чем при использовании жестких материалов, так как плиты из войлока можно нарезать с припуском и затем немного осадить. Войлок закрепляют с помощью стальных или алюминиевых шпилек, поставленных на изолируемых поверхностях на расстоянии 250—300 мм одна от другой посредством контактной сварки.

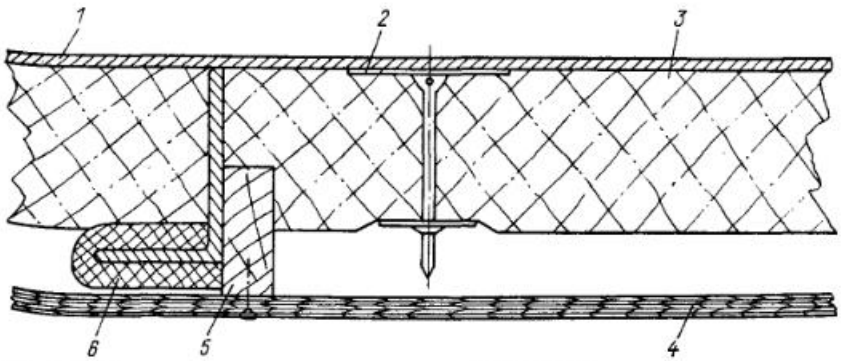



Рис. 143. Крепление изоляции из минерального войлока.
*1* — палубный настил; *2* — пластмассовый гвоздь (приклеивается к настилу через 300 мм эпоксидным клеем); *3* — минеральный войлок толщиной 50 мм и плотностью около 40 кг/м³; *4* — зашивка подволока, фанера толщиной 6 мм; *5* — рейка обрешетника, 40×16; *6* — изоляция полки бимса из полиуретана.

Войлок насаживают на эти шпильки и крепят круглыми металлическими зажимами диаметром около 30 мм (рис. 143). Для постановки войлока на пластмассу и иногда на металл используют также пластмассовые гвозди с широкой шляпкой, которые приклеивают эпоксидным связующим к очищенной поверхности. В этом случае и зажимы делают из пластмассы.

Если промежуточное пространство, например, между палубой и рейками внутренней зашивки, заполнено легчайшим минеральным войлоком, который даже немного сжат рейками, то его можно закрепить точечным контактным склеиванием. Этот вариант можно было бы использовать для изоляции толщиной 50 мм на яхте «Гидра» (см. рис. 147), поскольку войлок плотностью 25 кг/м³ является действительно легким для такой небольшой яхты. Для яхты «Гидра» при высоте палубных бимсов 80 мм вполне пригоден стекловойлок толщиной 65 мм, который можно немного сжать и таким образом при той же плотности и небольших затратах труда достичь лучшего изолирующего действия. Бимсы и шпангоуты покрывают обычно изоляцией толщиной 30 мм.

Иногда на внутреннюю поверхность изоляции наклеивают алюминиевые и пластикатовые пленки, которые препятствуют проникновению в изоляцию влажности и образованию конденсата на внутренней стороне палубы и соответственно наружной обшивки. Если применяют внутреннюю зашивку из фанеры с раскладками по стыкам, то такое покрытие изоляции не требует.

### 7.3. ВЕНТИЛЯЦИЯ

В средних широтах на небольших или средних яхтах обычно достаточно естественной вентиляции, осуществляемой через соответствующие вентиляторы или просто через иллюминаторы и люки. К тому же парусные яхты имеют не настолько мощные источники электроэнергии, чтобы тратить ее на привод вентиляторов. И все же есть различия в эффективности естественной вентиляции, зависящие от вида, числа и расположения вентиляторов. Для того чтобы у движущейся яхты циркуляция воздуха была более эффективной, необходимо отсасывающие и нагнетающие вентиляторы располагать на возможно большем расстоянии друг от друга. Однако часто пренебрегают тем фактом, что поток воздуха благодаря нормальному распределению наружного давления у движущейся яхты идет под палубой в направлении хода яхты (рис. 144). Рациональное использование этой тенденции состоит в том, чтобы в одном помещении нагнетательный вентилятор располагать сзади, а вытяжной впереди. Во всяком случае для относительно гладкопалубных судов это правило подходит. При наличии надстроек надо учитывать распределение давления воздуха перед высокими лобовыми комингсами надстройки.

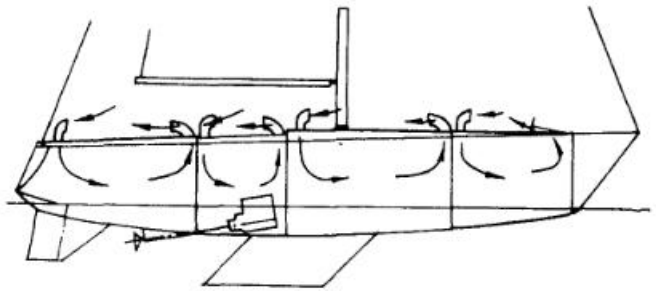


Рис. 144. Схема естественной вентиляции яхты.

На яхтах применяют эффективные, сравнительно дешевые и эстетически приятные нагнетательные и вытяжные вентиляционные головки, действующие направленно относительно ветра и незащищенные от воды. В настоящее время их изготовляют из прочного эластичного поливинилхлорида, так что если за головку зацепится трос, то это не приведет к поломке вентилятора. Такой вентилятор, легко вывинчивающийся вручную и при необходимости заменяемый водонепроницаемой крышкой, — почти идеальное устройство для яхты, если бы не большая вероятность попадания воды внутрь яхты при внезапном ливне и брызгах. Этого избегают устройством так называемых вентиляторов типа «Дорадо», представляющих собой ловушки для воды (рис. 145). Помимо высокой стоимости недостатком устройства является повышенное сопротивление воздуха внутри «Дорадо» и потеря давления из-за имеющихся шпигатов для слива попавшей внутрь воды.

На яхтах находят применение также защищенные от воды палубные вентиляторы с плоской головкой (рис. 146). Если

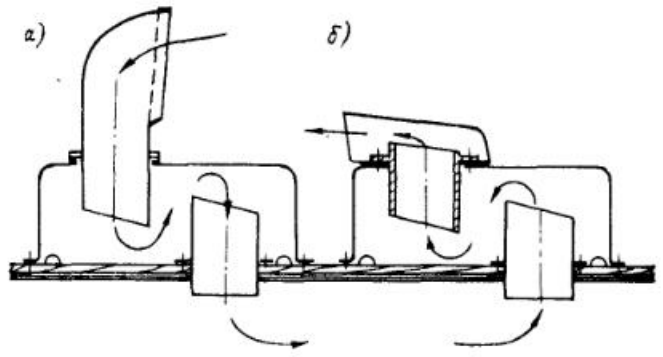



Рис. 145. Два вида вентиляционных головок типа «Дорадо»: *а* — с цилиндрическим раструбом; *б* — с плоским раструбом.

такой вентилятор окажется под слоем воды, то внутрь яхты также могут проникнуть брызги. Несмотря на недостаточное вентилирующее действие, эти устройства, в большинстве своем вытяжные, все чаще можно видеть на малых и средних новых яхтах. Несомненно, это связано с тем, что на палубах современных легких яхт с высоким надводным бортом редко бывает много воды. Тем не менее вентиляторы этого типа не рекомендуется устанавливать над койками или навигационными приборами. Расположенные рационально и в достаточном количестве, эти малозаметные вентиляторы совместно с вентиляционными жалюзи в наружных дверях и на нижней стороне внутренних дверей обеспечивают при стоянке в гавани необходимую циркуляцию воздуха внутри судна. На яхте «Гидра» длиной 14 м с восемью закрытыми помещениями достаточно 11 таких палубных вентиляторов (см. рис. 176). Правда, в теплую погоду все трапы, люки и почти все внутренние двери следует держать открытыми. Если при этом есть еще один электрический вентилятор, то даже плавание в Средиземном море не покажется утомительным.

Предусматривать на малых яхтах в наших широтах специальную вентиляцию моторных отсеков было бы несправедливо. Для бензиновых двигателей это дорого, а дизельный вспомогательный двигатель на парусных яхтах, закрытый кожухом, несмотря на отсутствие вентиляции редко достигает предельно допустимой температуры эксплуатации. Воздух жизненно необходим только для процесса сгорания. Его поступление обеспечено, если существует вентиляционное отверстие, поперечное сечение которого по крайней мере в три раза больше отверстия патрубка на дизеле, всасывающего воздух. В случае нагруженного дизельного двигателя эти поперечные сечения и расход воздуха для сгорания должны быть соответственно больше.

Механическая вентиляция осуществляется вентиляторами с электроприводом. Если она должна быть мощной, то осевой вентилятор для этой цели оказывается самым компактным и самым дешевым. Устройства такого типа устанавливают в моторном отсеке и туалете. Как правило, в этих помещениях вентиляторы работают только кратковременно. Центробежный вентилятор больше по габаритам, тяжелее и дороже, но рассчитан в большинстве случаев на длительную эксплуатацию.

Принудительная вентиляция моторных помещений наряду с вентиляцией камбуза и туалета применяется на яхтах,

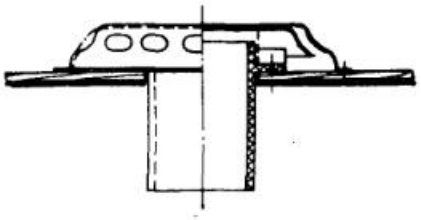


Рис. 146. Плоский палубный вентилятор.



которые плавают в более теплых климатических зонах. В моторном отсеке приток воздуха можно направить на горячие места, но из-за создания легкого избытка давления в этом помещении воздух может проникать через неплотности или двери в соседнее жилое помещение. Поэтому на яхтах в моторных отсеках предусматривают обычно механические вентиляторы только на вытяжке при естественном притоке воздуха. Воздух, необходимый для работы двигателя, подсасывается снаружи отдельно. Мощность вентилятора рассчитывают, исходя из наружной температуры и притока тепла от основных двигателей и вспомогательных механизмов. Для умеренно теплых климатических зон производительность вентилятора должна составлять примерно 60 м³/ч на киловатт мощности двигателя, в южных широтах — около 120 м³/ч. Норму, еще используемую в крупном судостроении и предписывающую рассчитывать мощность вентилятора примерно для 30-кратной смены воздуха в машинном отделении за час, нельзя применять на яхтах, так как размеры моторных отсеков на яхтах относительно мощности двигателей невелики. Смена воздуха за час должна составлять: для спальных помещений — около 6—10 раз; для жилых помещений и штурманской каюты — около 15 раз; для ванны и туалета — около 15—20 раз; для камбуза и буфета около 20—30 раз. Ванные, туалеты, камбузы и буфеты для удаления запахов снабжают механическими вытяжными вентиляторами. Приток воздуха осуществляется чаще всего через жалюзи, устроенные внизу в дверях, а также из соседних и спальных помещений.

## 7.4. ОБОРУДОВАНИЕ

Чертежи общего расположения и оборудования обычно входят в состав проекта. Без них было бы невозможно рассчитать водоизмещение, положение центра тяжести яхты и ее посадку на воде. Правда, часто конструктор ограничивается лишь общими чертежами без указания в них толщины материала обстройки и многих других деталей. Если конструктор много лет работает с определенной верфью, то ее метод постройки он берет за основу расчета. Если метод постройки данной верфи ему незнаком, то существует известный риск при определении массы оборудования, влияние которого на плавучесть и остойчивость яхты нельзя недооценивать.

Для любительской постройки важны наиболее детальные чертежи, на которых кроме продольного разреза и плана помещений должны быть вычерчены основные поперечные сечения (рис. 147).

Мореходные яхты обычно конструируют так, что функции обеспечения прочности корпуса выполняют конструктивные связи в составе корпуса, палубы и надстройки. Исключение

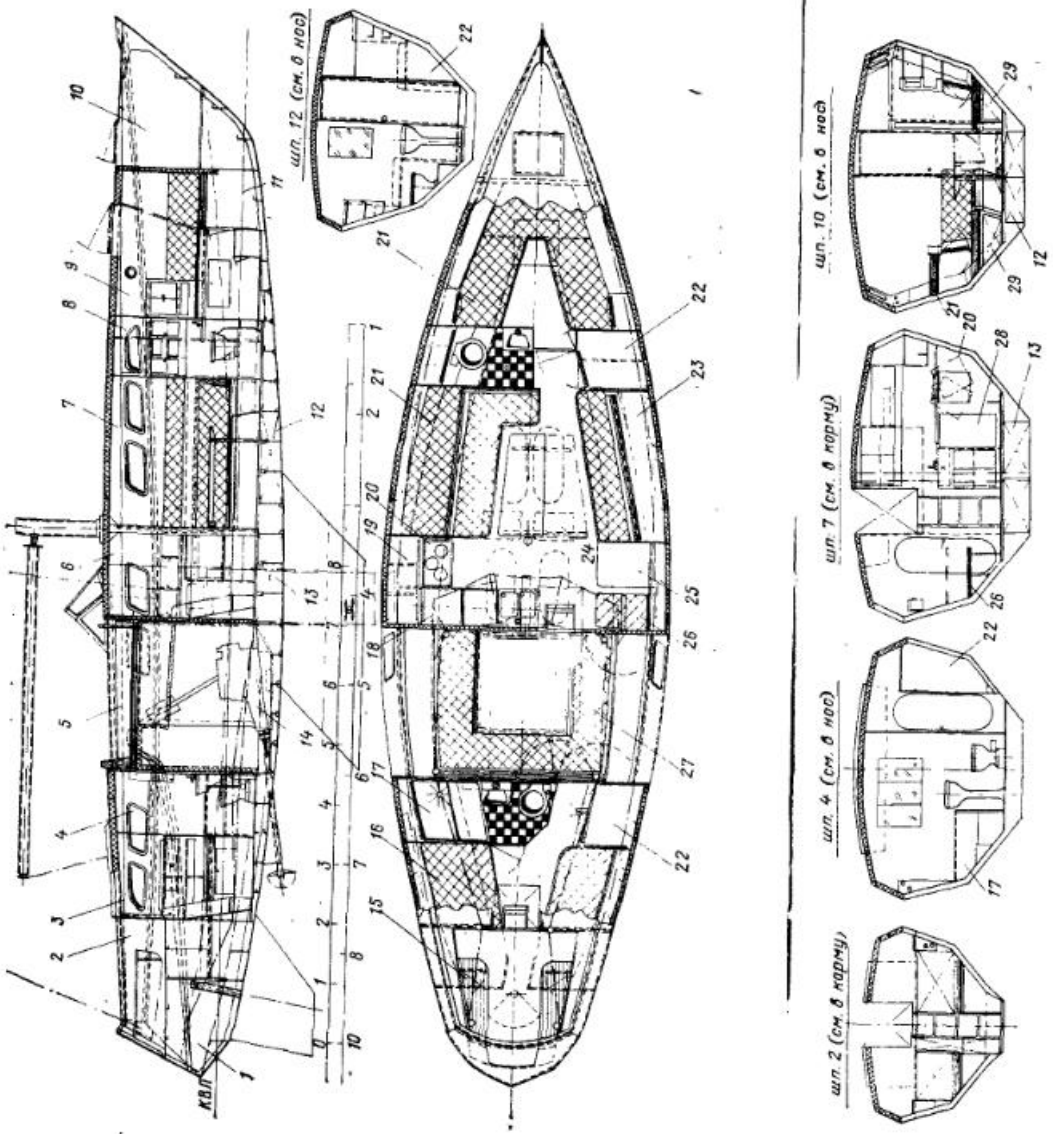



Рис. 147. Оборудование яхты «Гидра» длиной 14 м.

*1* — румпельный отсек; *2* — кормовой кокпит; *3* — кормовая каюта; *4* — туалет с ванной; *5* — основной кокпит; *6* — камбуз; *7* — кают-компания; *8* — туалет; *9* — кубрик; *10* — форпик-парусная кладовая; *11* — цепной ящик; *12* — цистерна пресной воды вместимостью 700 л; *13* — цистерна топлива вместимостью 500 л; *14* — дизель, 2×50 л. с.; *15* — сиденье, δ=12; *16* — диван-койка; *17* — ванна; *18* — провизионный ящик; *19* — полка для посуды; *20* — плита в карданном подвесе; *21* — койка; *22* — платяной шкаф; *23* — закрытые полки; *24* — складной стол; *25* — стол для карты; *26* — складное сиденье; *27* — сиденье кокпита; *28* — холодильник; *29* — цистерна пресной воды.

составляют яхты облегченной конструкции с многослойной клееной обшивкой из дерева и трехслойной конструкции из пластмасс, у которых надо экономить на каждом килограмме массы для уменьшения удельного водоизмещения. В этих случаях конструктор придает некоторым из деталей оборудования несущую функцию, включая их в набор корпуса. Речь, как правило, идет о небольших яхтах, у которых нормальные размеры деталей оборудования близки к размерам конструктивных связей. Правда, при этом конструктор вынужден идти на компромисс между желаемым расположением прочных связей и рациональным размещением деталей оборудования.

На яхтах длиной 6—8 м продольные стенки коек, основания коек, как и продольные переборки кокпита, образуют в большинстве своем идеальные продольные связи корпуса. Но это не дает основания произвольно укреплять в корпусе детали оборудования в надежде, что они как-нибудь будут раскреплять корпус. Рациональное размещение и соответствующая толщина материала, а также надежное крепление деталей друг к другу имеют решающее значение для равномерного распределения нагрузки на корпус. Надо избегать любой концентрации сил. Если детали оборудования смещены относительно друг друга и имеют неправильные размеры или ненадежно соединены с корпусом, то в легком корпусе, испыты-

вающем нагрузку на скручивание, появляются места излома. Если корпус построен из дерева, из которого чаще всего изготовляется оборудование, то сравнительные расчеты прочности и определение размеров связей, включаемых в работу набора, несложны. В том случае, когда материалы корпуса и оборудования сильно отличаются, надо сделать пересчет по модулю нормальной упругости этих материалов.

Клееный деревянный корпус с несущими деталями оборудования из морской фанеры по прочности является почти идеальным. Так как дерево практически не знает явлений усталости, то при правильной конструкции детали можно рассчитывать на некоторую эластичность, не тревожась за долговечность конструкции. Настоящие океанские яхты, которые должны выдерживать значительные постоянные нагрузки, проектируют с бóльшим запасом прочности, чем легкие яхты для прибрежного плавания. В любом случае использование деталей оборудования в качестве конструктивных связей предусматривает точное соблюдение при постройке всех данных, указанных конструктором в чертежах.

Помимо элементов оборудования, включаемых в работу набора, на яхте имеются легкие переборки и другие детали оборудования, которые не воспринимают нагрузок, действующих на корпус яхты или надстройки. Переборки жилых помещений и мебель чаще всего выполняют только функцию обеспечения комфорта. Способ их изготовления зависит от метода работы верфи или возможностей мастерской любителя-судостроителя. Только немногие крупные верфи выполняют заранее все группы оборудования, так как их надо вновь демонтировать, чтобы установить в корпус или надстройку. Полная сборка перегородок и мебели на яхте также не применяется. Даже любитель изготовляет детали в отдельном помещении, а потом монтирует их на борту.

На практике стремятся к тому, чтобы монтировать на яхте разделительные переборки и мебель с возможно более высокой степенью готовности, поскольку производительность труда в цехе или мастерской обычно выше благодаря более благоприятным условиям. Работа на борту, без сомнения, затруднительна. Временные полы, недостаточное освещение и вентиляция, проблемы отопления зимой и взаимоотношения столяров с трубопроводчиками, рабочими по изоляции, электриками и другими специалистами часто не способствуют повышению производительности труда. Поэтому на прогрессивных верфях изготовляют целые секции переборок и всю мебель заранее.

На борту изготовляют настилы, а затем доставляют из цеха большие переборки или детали переборок через специально для этой цели оставленные отверстия в надстройке или палубе. По окончании изоляции монтируют внутреннюю зашивку бортов и после этого устанавливают изготовленную заранее



мебель. Последний этап монтажа — зашивка подволока. Прежде чем устанавливать оборудование, нужно определить положение каждой трубы, каждого клапана, каждого кабеля. Намечать необходимые отверстия для их обслуживания в зашивке подволока и бортов надо так, чтобы они зрительно не мешали и в то же время располагались соответственно своему назначению. Успех координирования работ руководителем проекта и его коллегами проявится при монтаже оборудования. Если все изготовленные части хорошо стыкуются и после монтажа мебели и переборок не нужно прокладывать забытые трубопроводы и кабель, то их работа оправдала себя.

Все, что говорилось до сих пор, относится к индивидуальной постройке средних и больших яхт. При серийной постройке малых и средних яхт монтаж заготовленного оборудования — дело нескольких часов или дней. Здесь подготовка работ и техническая координация должны быть доведены до совершенства. Только таким путем можно достичь существенного снижения цены, чего и ожидает покупатель от серийной яхты. Все части оборудования, как правило, изготовляют по точным шаблонам, часто даже на других предприятиях, включая необходимую отделку поверхностей и фурнитуру.

Самодеятельный строитель, берущийся за оборудование яхты, имеет намного больше свободы действий в выборе вариантов, и эти работы обходятся ему дешевле, так как он не связан точной планировкой. Предварительное изготовление деталей оборудования и в этом случае имеет смысл. Если переборки и мебель уже отлакированы в мастерской, то монтаж можно производить и при более низкой температуре. Однако при этом необходимо закрывать бумагой или картоном все завершенные поверхности, которые по неосторожности можно повредить.

*Переборки* (рис. 148) — это разделительные стены между отдельными помещениями. При правильной планировке между моторным отсеком и спальными каютами обыкновенно выгораживают санитарные помещения. К переборкам предъявляют ряд требований. Независимо от колебаний температур и влажности они не должны коробиться, должны препятствовать распространению воздушного шума и звуков и сами не являться

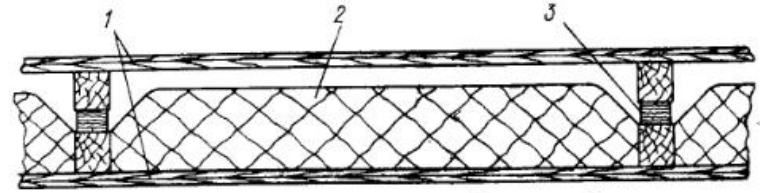



Рис. 148. Легкая переборка с шумопоглощающей изоляцией.
*1* — фанера; *2* — шумопоглощающая изоляция; *3* — резиновая прокладка.

источниками шума. Желательно, чтобы они были как можно более легкими, так как их масса занимает значительную долю в водоизмещении яхты. Все больше побеждает мнение, что экономия в массе рациональна в основном за счет оборудования и устройств, так как их облегчение не уменьшает запаса прочности корпуса яхты. Поскольку экономия в массе означает также сокращение расходов на постройку, то нецелесообразно применять тяжелые переборки и мебель, центр тяжести которых чаще всего расположен значительно выше ватерлинии и поэтому влияет на положение общего центра тяжести судна по высоте.

Из этих соображений рекомендуется выбирать самую легкую породу древесины: красное дерево, кайя или габон, сочетающие достаточную прочность с малой плотностью и хорошей влагостойкостью. Эти недорогие сорта дерева используются также для изготовления стойкой к кипячению фанеры для отделки оборудования. Красное дерево в виде широких досок применяют для отделки помещений и мебели без фанеровки деталей. Переборки обычно оклеивают фанерой с обеих сторон, подбирая древесину тика, клена и т. д. Фанерованные переборки обходятся значительно дороже.

При выборе сорта фанеры для естественно лакируемых поверхностей очень важно подобрать одинаковую древесину для деталей из сплошной древесины, чтобы склеенные листы фанеры и массив не отличались по цвету. Реально использование ели и пихты. Так как фанера из этих пород делается редко, то обшивку и детали отделки выполняют из реек. Но этим способом могут пользоваться в основном любители. Для серийного изготовления он непригоден из-за высокой стоимости работ. Сосну, бук, ясень и березу нельзя применять из-за сучков и недостаточной прочности, разве что в виде фанеры с последующей фанеровкой поверхностей переборок и мебели ценными сортами древесины.

Для отделки свободно стоящих разделительных переборок применяют водостойкую фанеру толщиной 12—15 мм на яхтах длиной 7—12 м и толщиной 15—18 мм на яхтах длиной 12—20 м. Если выбирают нижнюю границу толщины переборки, то рационально использовать различные выгородки и мебель для ее подкрепления.

В современном яхтостроении все чаще применяют переборки облегченной конструкции, позволяющие снизить общую массу яхты и улучшить соотношение длины и водоизмещения. Это обычно переборки трехслойной конструкции с тонкими внешними поверхностями из фанеры, которые наклеены на заполнитель из пенопласта. По кромкам пенопласт обрамляют легкими рейками из ели. Для склеивания необязательно использовать мощные прессы. На небольших предприятиях вполне достаточно запрессовать пакет с помощью двух хорошо вы-



ровненных широких досок и струбцин. Для склеивания чаще всего применяют темный клей на основе резорциновой смолы.

Переборки, изготовленные таким способом, в последние годы применяют для очень быстроходных моторных и гоночных яхт. В зависимости от общей толщины подобной переборки и толщины наружных слоев возможна экономия в массе на 50—75% по сравнению с легкими переборками из фанеры. Это преимущество, однако, связано с заметным повышением стоимости вследствие большей трудоемкости изготовления трехслойных переборок.

Есть и еще один недостаток: каждая пристраиваемая к переборке деталь и каждый шуруп, который будет завинчен в переборку позже, должны быть предусмотрены заранее и для них вклеены сплошные вставки из дерева. Если вместо фанеры толщиной 3—4 мм для небольших деталей, например, дверок, шкафов, поверх пенопласта кладут только один слой шпона, то не исключены механические повреждения этих деталей при толчках и ударах. В настоящее время появился плотный и легкий пенопласт, который, начиная с объемной массы около 80 кг/м³, такой прочный, что в него можно ставить обычные дюбеля для соединений на шурупах. При минимальной толщине наружных слоев из фанеры или пластмассы около 1,5 мм в такую переборку можно легко врезать и вклеивать необходимые вставки. По сравнению с обычной фанерной переборкой стоимость изготовления трехслойной конструкции значительно выше: при толщине 20 мм — примерно на 50—80%, около 15 мм — примерно на 100—120% и при толщине 8 мм — примерно на 150—200%.

Верфи по постройке больших яхт уже давно изготовляют облегченные переборки по своей собственной системе. Так, на голландской верфи фанерную обшивку крепят с помощью аппарата, работающего на сжатом воздухе, проволочными скрепками на рейки из ели или другой древесины, уложенные на расстоянии друг от друга на ширину рейки. Если переборка должна быть окрашена, то глубоко сидящие скрепки потом просто зашпаклевывают, а переборки, подлежащие лакировке, фанеруют. Этот относительно дешевый способ изготовления легких переборок имеет то преимущество, что крепление в районе реек с помощью шурупов возможно в любое время. Масса такой переборки составляет около 50% массы более тонкой однослойной переборки из сплошной фанеры.

*Пайолы* до последнего времени не стремились делать чрезмерно легкими. Слишком легкие и прогибающиеся пайолы создают чувство неуверенности у экипажа яхты. При расстоянии между опорными балками около 40 см разумным минимумом является толщина фанерного пайола 15 мм, для более крупных яхт — 18—22 мм. В целях удешевления для пайолов часто применяют плиты, набранные из брусков ели, с толстой

наружной фанеровкой. Они соответствуют своему назначению, если склеены водостойким клеем.

Принято делать пайолы съемными на шурупах. Если под ними находятся трубопроводы и вентили, то надо предусмотреть легко открывающиеся лючки, которые, к сожалению, почти всегда стучат. Поэтому рационально применять резиновые амортизаторы или резиновые уплотнения.

*Зашивку корпуса и подволока* до настоящего времени изготовляют почти исключительно из фанеры толщиной 6—8 мм. Фанеру зашивки можно окрашивать или фанеровать шпоном благородных пород под лакировку. Иногда применяют так называемую профильную фанеру, которая производит впечатление настила из реек. Листы зашивки привинчивают на цельные рамы из ели или красного дерева (рис. 149). Чтобы не были видны шурупы, нужно заготовленные части зашивки приклеить с помощью подпорок к цельным рамам, которые уже привинчены к шпангоутам, ребрам жесткости переборок или палубным бимсам. От съемных щитов тогда приходится отказываться. Иногда конструкторы, архитекторы или владельцы яхт требуют зашивку без видимых соединений на шурупах и несмотря на это съемную. Такие требования означают необходимость решения сложной проблемы при постройке яхты. Крепление с помощью пластиковых нажимных кнопок, при использовании которых отдельные панели зашивки надо демонтировать с помощью больших вакуумных присосок, является одним из решений этой проблемы.

Если консервация стальных, алюминиевых и деревянных деталей корпуса выполнена должным образом, а также правильно размещена теплоизоляция, то нет никаких оснований

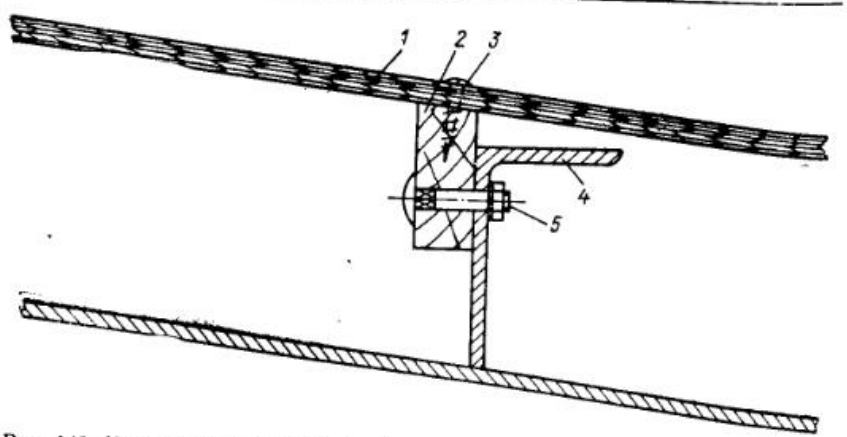



Рис. 149. Узел крепления внутренней зашивки к набору.
*1*—фанерная зашивка, δ=6; *2*—рейка обрешетника, 40×16; *3*—шуруп 3,5×20; *4*—шпангоут; *5*—болт М5×25.



для того, чтобы зашивку в открытых (видимых) местах делать съемной. Необходимые трубопроводы, клапаны, грелки и т. д. при правильной планировке и координации можно разместить так, чтобы они, например, оказались в шкафах или под койками. В этих местах зашивку можно сделать легкосъемной, закрепив щиты на шурупах.

Для крепления съемных панелей зашивки делают обрешетник из реек сечением примерно 60 × 22 мм. Эти рейки не выполняют функции прочных элементов, поэтому их можно уменьшить до 40 × 16 мм и даже меньше. Масса обрешетника при этом уменьшается почти наполовину, соответственно снижаются и расходы на материал. Избежать сверления отверстий мимо тонкого бруска может только специалист, неопытный человек и при значительно большей толщине бруска будет сверлить в пустоту. Бруски обрешетника к шпангоутам можно крепить на винтах М5 через 30—40 см.

Покрывать настилы, переборки и мебель пластиком уже давно вошло в моду. Но поскольку такие покрытия дорогостоящие, тяжелые и затруднительны в обработке, при постройке яхт по индивидуальному проекту их применяют сравнительно редко. Легкие переборки, двери, стенки шкафов и т. п. ни в коем случае нельзя оклеивать пластиком только с одной стороны, иначе они будут сильно коробиться.

## 7.5. ИЛЛЮМИНАТОРЫ, ДВЕРИ, ЛЮКИ

*Иллюминаторами* называют все пропускающие свет, но водонепроницаемые отверстия в наружной обшивке и стенках надстройки. Если они расположены скорее горизонтально, чем вертикально, т. е. на палубе или крышах надстроек, то их называют светлыми люками. Правда, сейчас такие люки часто заменяют плексигласовыми крышками сходных люков большой площади.

В крупном судостроении еще и сегодня встречаются иллюминаторы типа «бычий глаз», или глухие иллюминаторы. Суда водоизмещением много тысяч тонн оказывают волнам огромное сопротивление, вследствие чего возникает очень высокая нагрузка на поверхность обшивки, палубы и также на иллюминаторы. Поэтому здесь круглые глухие иллюминаторы имеют огромные размеры и изнутри, кроме того, еще тяжелые заглушки с резиновым уплотнением и откидными винтами. Для больших яхт, которые классифицируют и регистрируют как коммерческие суда, такие иллюминаторы также предписаны Правилами постройки.

Архитектору по внутреннему оформлению яхты приходится решать сложную задачу, как разместить несъемные заглушки, выступающие внутри, чтобы не отнимать у каюты полезного пространства. Уже на яхтах средних размеров эти иллюмина-

торы стали редкостью. Даже в более легком исполнении они слишком громоздки для современных яхт и пропускают мало света. Чаще всего их устраивают как дань романтике.

На яхтах, как правило, устанавливают глухие (неоткрывающиеся) иллюминаторы прямоугольной формы. Все шире применяемая искусственная вентиляция и климатизация способствуют развитию этой тенденции. Кроме того, в этом случае уменьшаются масса и расходы и снижается вероятность образования течи. Многие верфи и изготовители корпусов встраивают внутренние рамы прямо в корпус или надстройку, а снаружи делают легкое обрамление. Вместо обычного безопасного жесткого стекла применяют акриловое стекло, больше известное под названием плексиглас. Это стекло можно легко гнуть и оно легче обычного стекла.

Органы надзора за безопасностью плавания и классификационные общества с трудом соглашаются с тем, что вследствие значительно уменьшенных нагрузок на легких и мореходных яхтах можно устанавливать иллюминаторы более легкой конструкции. В зависимости от материала корпуса и надстройки существуют различные уплотнения иллюминаторов: самый простой и дешевый — это резиновый обжимной профиль, применяемый на автомобилях. Его используют преимущественно на малых яхтах с небольшими и не слишком выпуклыми иллюминаторами, для которых наряду с хорошим уплотнением и незначительной массой большое значение имеет также низкая стоимость их установки. Многие серийные яхты ходят с такими иллюминаторами надежно уже десятилетия (рис. 150, *а*).

Накладные иллюминаторы из толстого часто подкрашенного плексигласа используются широко на современных яхтах средних размеров (рис. 150, *б*). Лучше всего выглядят крепления на винтах с полупотайными головками и перекрестным шлицем. В качестве уплотнения между плексигласом и комингсом рубки применяют эластичную мастику, которую можно накладывать в виде тонкой ленты. Чаще всего используется жидкий прозрачный силиконовый каучук, хотя есть опасность, что даже на следах этого материала лак держаться не будет. При использовании двухкомпонентного резинового клея такого опасения нет. Бронзовые обрамления хорошо закрывают черную резину, а в некоторых случаях уплотнительную мастику можно получить коричневого или белого цвета, следы которой не так заметны на лакированной поверхности.

Вставной иллюминатор (рис. 150, *в*), без сомнения, имеет самый лучший вид. В простейшей конструкции, применяемой на металлических судах, он состоит из чисто приваренного к комингсу надстройки угольника и расположенной снаружи рамки. На деревянных и пластмассовых яхтах применяют двойные металлические рамки, из которых одна водонепроницаемо соединяется с надстройкой или наружной обшивкой.



Такая конструкция, однако, трудоемка в изготовлении и поэтому высока в цене. Так как с технической точки зрения у врезного иллюминатора по сравнению с накладным нет особых преимуществ, то первый применяют, как правило, на крупных яхтах, где расходы на монтаж иллюминаторов составляют сравнительно небольшую долю от общих расходов на постройку.

Для иллюминаторов небольших и средних яхт применяют почти исключительно плексиглас. Изготовляемое в настоящее время и предлагаемое под другими названиями акриловое стекло уже не имеет ранее присущих ему недостатков, которые выражались в недостаточной устойчивости к изменениям атмосферных условий и приобретении молочного цвета после нескольких лет эксплуатации. Благодаря улучшению прочности этого стекла и приданию ему бронзового оттенка, его широко используют на яхтах.

Приемлемую прочность акрилового стекла можно еще повысить, если иллюминаторы сделать выпуклыми наружу. Так, на океанских моторных яхтах, развивающих скорость более 40 уз, делают иллюминаторы из плексигласа толщиной всего 10 мм при расстояниях между стойками намного больше одного метра. Хотя брызги при такой скорости создают значительную нагрузку для больших лобовых иллюминаторов, опыты прошли успешно.

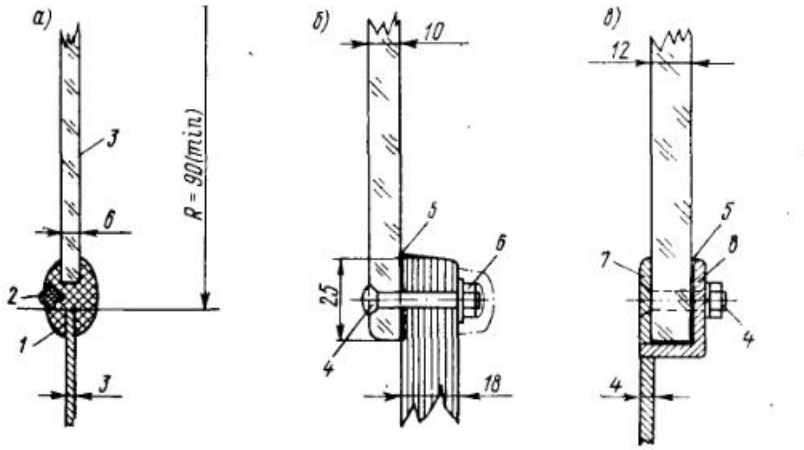



Рис. 150. Типовое исполнение неподвижных (глухих) иллюминаторов: *а* — с использованием резинового обжимного профиля, заимствованного из автомобилестроения; *б* — крепление съемного иллюминатора из акрилового стекла на винтах; *в* — вставной иллюминатор в металлической раме.

*1* — резиновый профиль; *2* — заполнитель; *3* — стекло; *4* — винт М6; *5* — мастика; *6* — декоративный колпачок или рейка; *7* — рамка из нержавеющей стали; *8* — угольник 30×20×4.

Возможность легкой деформации плексигласа на простых шаблонах, сделанных из фанеры и картона, наряду с хорошей ударостойкостью объясняет его широкое распространение. Плексиглас к тому же легко подвергается обработке: его можно пилить, сверлить, строгать с применением обычного инструмента.

По соображениям обеспечения безопасности экипажа незакаленное стекло для яхтенных иллюминаторов не применяется. Безопасное закаленное стекло (одна из распространенных марок называется «Секурит») получают, нагревая обычное стекло и быстро охлаждая его путем обдува воздухом. Возникающие благодаря этому внутренние напряжения являются основой высокой прочности стекла. При ударе о поверхность стекла жесткого и острого предмета эти предварительные напряжения расслабляются и происходит своего рода цепная реакция. Ведро, полное осколков стекла величиной с горошину и больше,— таков результат.

Классификационные общества допускают применение стекла этого сорта на судах, но требуют одновременно предусматривать изнутри водонепроницаемые противоударные заглушки. Для больших по площади и подверженных значительным нагрузкам лобовых иллюминаторов на морских яхтах чаще устанавливают наружные водонепроницаемые и противоударные штормовые заглушки в виде щитков, которые применяют только в чрезвычайных случаях.

Так как безопасное закаленное стекло нельзя обрабатывать каким-либо образом и нельзя гнуть, то ограничиваются его применением для простых плоских иллюминаторов. На парусных яхтах, где над палубой летают скобы и могут разрушить это стекло, его используют редко. Необходимо оно в тех случаях, когда даже стеклоочистители не могут предотвратить потускнения плексигласа. Закаленное стекло очень прочное к царапинам, а плексиглас через несколько лет необходимо полировать.

*Наружные двери* в надстройках яхт должны иметь простую и удобную конструкцию и правильное расположение. Неприятно, если при сильном забрызгивании или потоках дождя двери дают течь. Водонепроницаемые двери выполняют только в металлических корпусах, где они имеют резиновое уплотнение и минимум четыре, лучше шесть прижимающих задраек с соответствующими шарнирами. Если такая дверь не снабжена дорогим центральным замком с механическим приводом и большими маховиками изнутри и снаружи, то делать ее водонепроницаемой нецелесообразно.

Деревянные двери с подобными задрайками даже при наличии уплотнения являются не очень плотными, так как они коробятся при изменении температуры и влажности. Поэтому при постройке яхт в большинстве случаев от них отказываются.



Чтобы через двери не проникали водяные брызги, достаточно предусмотреть в дверных рамах водопротоки определенного размера.

Решающее значение имеет расположение дверей. Их можно устраивать в защищенных кормовых стенках надстроек, но в носовой переборке, подверженной забрызгиванию или даже ударам волн, делать двери нецелесообразно. Также нецелесообразно устраивать двери в боковых стенках надстройки. При решении общего расположения почти всегда есть возможность разместить наружные двери только в кормовых стенках надстройки или в ее верхних защищенных от волн и брызг частях. Обычно на яхтах стараются применять простые двери на петлях (рис. 151). Сдвижные двери, не обеспечивающие достаточной плотности, не рекомендуются. Если все-таки их предусматривают как наружные двери в надстройке, то проектировщик должен ясно представлять себе возможные последствия в случае плохой погоды. Необходимо предусмотреть надежную защиту двери от волн и брызг.

Для наружной двери, закрывающей проем в полный рост человека, необходимы три очень прочных шарнирных петли, а замок должен иметь пригодную для морских условий конструкцию. Часто используют так называемые опускающиеся (кривошипные) замки.

*Палубные люки* в их современном варианте изготовляют литыми из легких алюминиевых сплавов в сочетании с плексигласом. Как правило, люки имеют плоскую конструкцию, чтобы

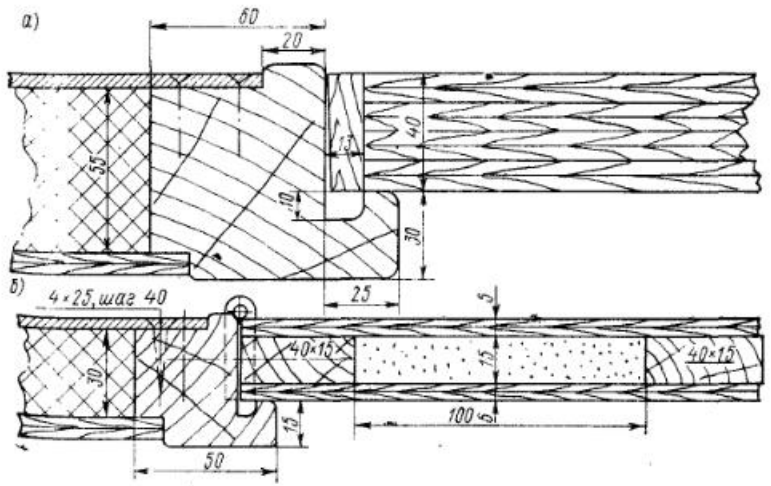



Рис. 151. Типовая конструкция наружной двери: *а* — дверь для большой яхты, склеенная из нескольких слоев огнеупорной фанеры; *б* — дверь для малых и средних яхт с применением фанеры толщиной 6 мм и пенопласта.

не создавать помех экипажу при работе на палубе. Светлые люки на палубе выполняют две функции: эффективных источников верхнего света и вентиляторов в хорошую погоду. Если такие люки предусмотрены в достаточном количестве и правильно размещены, то открывающиеся иллюминаторы и многие палубные вентиляторы с большим поперечным сечением излишни. Почти все конструкции таких люков имеют устройство для регулировки степени их открытия (рис. 152, *а*). Установка шарниров на носовом комингсе обеспечивает хорошую защиту помещений от брызг даже в штормовую погоду.

Большинство плоских палубных люков имеют комингс высотой всего 10—15 мм, который упирается в резиновое уплотнение, закрепленное в жесткой литой раме из алюминиевого сплава, стойкого к морской воде. Надежное уплотнение даже против волны, вкатившейся на палубу, чаще всего обеспечивают три мощных шарнира вместе с двумя винтовыми задрайками.

Люки из прочного плексигласа, которые соединяются с палубой без рам, как крышки, красивы, но нерациональны. Водонепроницаемость таких люков вызывает сомнение, так как в пространстве между комингсом и крышкой всегда находится вода, которая и при открытии люка попадает внутрь яхты. При установке утопленных в палубу люков необходимо учитывать поперечную погибь палубы или намного бо́льшую погибь палубы рубки. Так как ось петель должна быть прямой, то здесь не обойтись без выравнивающих внутренних прокладок.

Деревянные откидные люки в профессиональном судостроении сейчас практически не применяют как вследствие трудности обеспечения хорошего уплотнения, так и в связи с большой трудоемкостью изготовления. Их часто устанавливают только любители, для которых важна лишь цена материала. Принцип уплотнения, как и у наружных дверей, заключается в создании водопротока по всему периметру крышки (рис. 152, *б*).

Из дерева чаще всего изготовляют классические сдвижные люки. Вместе с кожухом, в который входит крышка люка, когда он открыт, обеспечивается достаточная брызгозащищенность конструкции. Обязательным дополнением для таких люков является парусиновый тент, который ставят на двух откидных трубчатых дугах, поскольку расположенная под ним дверь или выдвижной щиток практически всегда открыты. Наиболее распространенная конструкция сдвижного люка изображена на рис. 153.

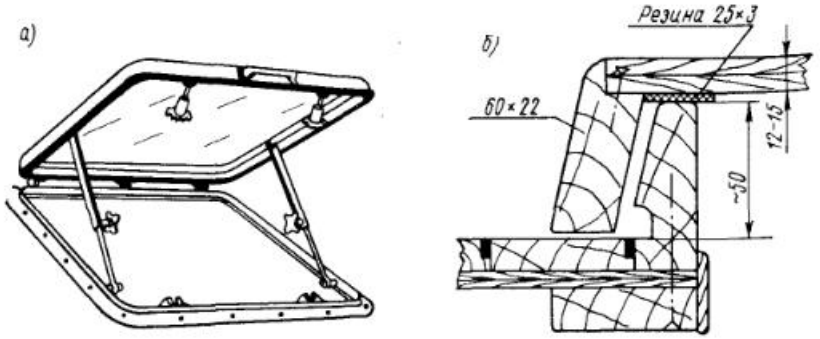



Рис. 152. Конструкция входных люков: *а* — люк из алюминия и акрилового стекла с минимальным комингсом и резиновым уплотнением; *б* — деревянный люк с комингсом, образующим водопроток.

## 7.6. ДЕКОРАТИВНЫЕ И ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Качество шпаклевки и заключительного покрытия лаком наряду с цветом окраски имеют решающее значение для внешнего вида яхты. Эти работы, которые нужно выполнять с большой тщательностью, значительно влияют на затраты. Шпаклевку проводят так тонко, как только возможно, и прак-

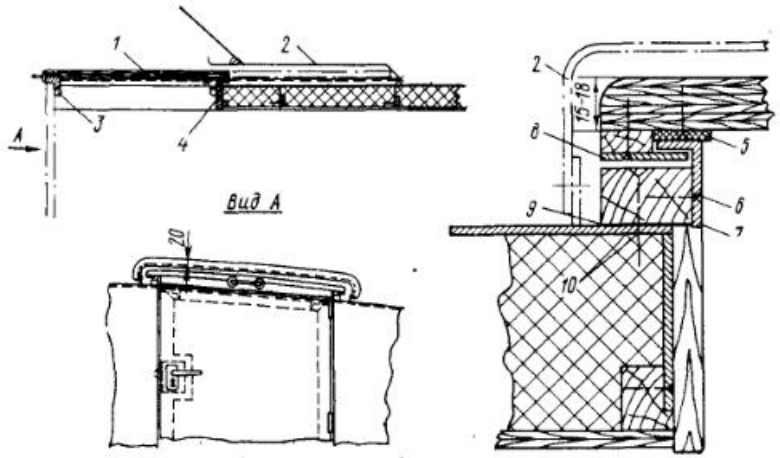



Рис. 153. Классическая конструкция сдвижного люка в деревянном исполнении.

*1* — крышка люка, фанера 15—18 мм; *2* — кожух, сталь, $\delta$=3 или легкий сплав, $\delta$=5 мм; *3* — бимс крышки; *4* — поперечный комингс люка, $\delta$=15; *5* — полоз, нейлон 20×3; *6* — шуруп 3,5×25 шаг 60; *7* — угольник 70×45×3; *8* — полоса 30×3, нержавеющая сталь; *9* — резиновый клей; *10* — винт М5×80.

тически по всей поверхности корпуса. На деревянных корпусах ее производят поперек волокон древесины, а на металлических — поперек или диагонально к шпангоутам и ребрам жесткости. Работают стальными шпателями.

Окончательную лакировку следует проводить в исключительно чистом цехе, пол которого за несколько часов до этого необходимо смочить водой. Для того чтобы не нарушать процесса других работ, лакировку производят в конце рабочего дня или в конце недели.

К малярным работам относят также консервацию материала и систему окраски. Для дерева консервация заключается в пропитке его специальным составом; для металлов этот процесс чаще называется плакированием или оксидированием. При выборе консервации кроме материала надо учитывать систему последующей окраски: однокомпонентной или двухкомпонентной краской.

Двухкомпонентные краски в основном более стойкие, однако более дорогие и сложные по технологии их нанесения. Критериями являются условия смешивания компонентов, температура воздуха и его влажность. Ремонт окраски на открытом воздухе при низких температурах невозможен. Нижняя граница температуры составляет около 10°С для применения краски на основе эпоксидной смолы и около 5°С для краски на основе полиуретана. И тем не менее двухкомпонентные краски в последнее время используются все шире в связи с их хорошей устойчивостью.

Однокомпонентные краски основаны на таких материалах, как природный асфальт, битум и алкидная смола и обладают лучшими свойствами, чем масляные краски. Они вполне доступны и значительно дешевле масляных красок.

Для обновления старых покрытий при одинаковой системе окраски можно применять краски различных изготовителей. При новом покрытии этого делать не рекомендуется, так как не все краски оказываются совместимыми. Очень важно соблюдать требования, указанные изготовителем (время сушки и интервалы при нанесении слоев). Уменьшение интервала влечет за собой недостаточную просушку, а увеличение снижает сцепление последующего слоя краски, что иногда проявляется только спустя месяцы и годы. Толщина слоя отдельного покрытия имеет решающее значение для прочности покрытия и зависит от метода нанесения краски. Более высокое качество обеспечивается при окраске кистью, поэтому при постройке яхт почти исключительно применяется этот метод. Ниже приведены примерные толщины слоя при окраске кистью, а также интервалы времени для нанесения отдельных покрытий. Точные данные может дать только завод — изготовитель красок.

| Двухкомпонентное покрытие | Примерная толщина слоя, мкм | Примерный интервал между нанесением слоев, ч |
|---|---|---|
| *Подводная часть корпуса* | | |
| *Вариант 1*: | | |
| три слоя защитного покрытия на основе эпоксидной смолы и каменноугольной смолы | 3×80 | 12—72 |
| слой грунта | 2×40 | 12 |
| два слоя необрастающей краски | 2×40 | 12 |
| последнее покрытие с полировкой | | До 6 недель |
| *Вариант 2*: | | |
| четыре слоя краски на основе полиуретана или эпоксидной смолы | 4×40 | 7—48 |
| один слой грунта | 40 | 12 |
| два слоя необрастающей краски | | |
| *Вариант 3*: | | |
| четыре слоя краски на основе полиуретана или эпоксидной смолы | 4×40 | 7—48 |
| *Надводная часть корпуса* | | |
| *Вариант 1*: | | |
| слой грунта без смолы (двухкомпонентный) | 40 | 12—72 |
| слой однокомпонентного грунта под лак на основе алкидной смолы | 40 | От 8 ч до двух недель |
| два слоя однокомпонентного эмалевого лака на основе алкидной смолы | 2×30 | От 12 ч до трех недель |
| *Внутренние помещения* | | |
| *Вариант 1*: | | |
| четыре слоя краски на основе полиуретана и эпоксидной смолы | 4×40 | 7—48 |
| *Вариант 2*: | | |
| два слоя защитного покрытия на основе эпоксидной смолы и каменноугольной смолы | 2×80 | 12—72 |
| *Вариант 3*: | | |
| два слоя грунта без смолы (двухкомпонентного) | 2×40 | 8 |
| слой однокомпонентного покрытия на основе алкидной смолы | 1×40 | От 8 ч до двух недель |
| слой однокомпонентного эмалевого лака на основе алкидной смолы | 1×30 | 12 |

Часть обшивки, расположенную непосредственно над ватерлинией, можно красить как подводную часть судна и предусматривать покрытие необрастающей краской. Другой вариант: начиная от уровня, находящегося на 1—2 см выше ватерлинии, красить борт той же краской, какая применяется для надводной части корпуса. Однако более рационально заканчивать слой необрастающей краски примерно на 100 мм выше ватерлинии и над ним проводить полосу ватерлинии.

В составе необрастающей краски для покрытия корпусов из алюминия и стали не должно быть никаких примесей меди,

графита или ртути, которые способствуют электролитической коррозии. Ядовитые свойства краске придают в этом случае только органические вещества. Так как обычный «антифулинг» не может находиться на открытом воздухе дольше, чем 24 ч, чтобы не потерять своего действия, он малопригоден для постройки яхт.

На покрытие двухкомпонентным грунтом можно наносить однокомпонентный лак. И, наоборот, однокомпонентный грунт нельзя покрывать двухкомпонентным лаком. Если грунтовка осуществляется однокомпонентным материалом, то нужно применять приведенную ниже однокомпонентную систему окраски:

| Однокомпонентное покрытие | Примерная толщина слоя, мкм | Примерный интервал между нанесением слоев, ч |
|---|---|---|
| *Подводная часть* | | |
| слой защитного покрытия против коррозии на основе природного асфальта | 1×40 | 6 |
| два слоя грунта на основе природного асфальта | 2×50 | 10 |
| слой изоляционного покрытия перед нанесением необрастающей краски | 1×40 | 8 |
| два слоя органической необрастающей краски | 2×40 | 6 |
| *Надводная часть* | | |
| два слоя грунта без смолы | 2×40 | От 6 ч до трех недель |
| слой предварительной окраски с немеловыми пигментами | 1×40 | От 8 ч до двух недель |
| слой цветного лака на основе алкидной смолы | 1×30 | 12 |
| *Внутренние помещения* | | |
| слой свинцового сурика на искусственной смоле | 1×40 | От 16 ч до трех недель |
| два слоя битума — жидкого асфальта | 2×50 | 8 |
| *Вариант*: | | |
| слой свинцового сурика на искусственной смоле | 1×40 | От 16 ч до трех недель |
| два слоя предварительной окраски | 1×40 | От 8 ч до двух недель |
| слой цветного лака | 1×40 | 12 |

Большинство сортов покрытий через один — три дня высыхает настолько, что уже не может быть обеспечено идеального сцепления с последующими слоями краски. Следовательно, если интервалы времени, указанные фирмами, превышены, то перед нанесением очередного слоя поверхность необходимо слегка пошкурить мокрой или сухой шкуркой. Если применяют мокрую шкурку, то для лучшего сцепления следующего покрытия нужно произвести шлифовку сухой шкуркой, чтобы поверхность стала чуть шершавой.

Для шлифовки древесины применяют шкурку с зерном 120—180 мкм, перед грунтовкой под лакировку эмалевым лаком используют шкурку с зерном 220—320 мкм, для шлифовки перед покрытием светлым лаком или цветным эмалевым лаком — с зерном 320—340 мкм. Часто пользуются шкуровальной машинкой, но при недостаточном опыте обращения со шлифовальным кругом или ленточным дефибрером на поверхности могут оставаться глубокие выемки от кромок шлифующего инструмента. Ручная шлифовка давлением пальцев или с помощью бруска из пробки остается пока что самым надежным и тонким методом доводки поверхности корпуса.

Для сглаживания больших неровностей после первой грунтовки поверхности на нее наносят шпаклевку. При однокомпонентной системе покрытия можно применять также однокомпонентную шпаклевку, которая легко обрабатывается. Ее надо наносить слоем не толще 1 мм. При двухкомпонентной системе окраски требуется двухкомпонентная шпаклевка, которую можно наносить в один прием слоем толщиной до 3 мм. Общая толщина слоя шпаклевки на корпусах яхт не должна превышать 5 мм. Перед нанесением следующего слоя краски шпаклевку надо начисто отшлифовать. Для лучшего сцепления между несколькими слоями шпаклевки рекомендуется наносить слой грунта.

Перед нанесением покрытия обычно производят консервацию обшивки. Применяемые для этого средства зависят как от строительного материала, так и от того, какая система окраски (одно- или двухкомпонентная) будет использоваться. Древесину при однокомпонентном покрытии консервируют пропитыванием «Ксиламоном» или аналогичным средством, которое может быть различным для сплошной и склеенной древесины. При двухкомпонентной окраске древесину пропитывают разбавленной однокомпонентной краской на основе полиуретана или эпоксидной смолы.

Сталь перед консервацией в любом случае надо очистить пескоструйным методом. После этого на нее наносят пассивирующий состав на основе окиси железа или цинковой пыли. Для двухкомпонентной окраски пассивирующий слой должен состоять также из двух компонентов. В большинстве случаев пассивирующий слой наносят на листы и профили перед изготовлением из них деталей корпуса. При толщине пассивирующего слоя до 20 мкм возможна последующая сварка, так что нужно только зашлифовать сварные швы до металлического блеска и законсервировать эти места, например, двухкомпонентным составом из окиси железа, который по сравнению с пассивирующим составом на цинковой пыли при сварке не выделяет газ. Перед нанесением слоя грунта пассивирующее

покрытие надо тщательно вымыть чистой водой и щеткой, поскольку из пассивирующего слоя через некоторое время могут выделяться соли. Двухкомпонентную полиуретановую краску или покрытие на основе эпоксидной смолы можно непосредственно наносить на очищенные песком стальные поверхности. Общую обработку корпуса готовой яхты пескоструйным аппаратом производят на открытом воздухе в сухую погоду при температуре выше 10°С. Пескоструйным аппаратом можно обрабатывать отдельные секции до сборки корпуса. Консервация стали возможна и без пескоструйной обработки, другими методами. Чаще всего эти методы применяют для обновления всего покрытия, включая пассивирующий слой, уже через несколько лет эксплуатации судна.

Алюминий перед консервированием надо тщательно обезжирить нитроразбавителем. Применяют пассивирующий состав на основе винилацетата или аналогичного вещества, который дает слой только около 5 мкм толщиной (интервал для нанесения краски составляет от 1 до 60 ч). Между обезжириванием и консервацией поверхность часто обрабатывают средством *«Алодин» или аналогичным*, эффект которого заключается в придании металлу небольшой шероховатости.

Пассивирующий слой на алюминиевом сплаве играет в основном роль средства сцепления с последующим защитным покрытием.

Стеклопластиковый корпус, его подводная часть, нуждается в покрытии необрастающей краской. Предварительно поверхность корпуса тщательно моют щеткой специальным обезжиривающим средством. После этого наносят специальное сцепляющее средство для пластмасс, иначе не встанет ни «Антифулинг», ни другое покрытие. Пластмассовые поверхности, поврежденные эрозией или другими явлениями, перед окрашиванием необходимо обрабатывать, как это было описано на стр. 253.

Армоцементные поверхности перед обычной окраской целесообразно консервировать разбавленной краской на основе полиуретана (ДД). Другая возможность состоит в использовании эпоксидного покрытия с соответствующим разбавителем. На армоцементной яхте консервации можно подвергать лишь внутреннюю поверхность трюма и наружную обшивку в подводной части, а борт снаружи и палуба изнутри могут оставаться без консервирования.

Отделочные работы, выполняемые на внутреннем *оборудовании,* имеют большое значение для обеспечения высокого качества яхты и влияют на общие затраты на постройку. Это почти всегда ручные и весьма трудоемкие работы. Только при серийной постройке удается уменьшить эти расходы благодаря применению рационального метода лакировки разбрызгиванием, для чего требуется оборудовать специальные кабины с



устройствами в целях интенсивной вентиляции. Для индивидуальной постройки небольших яхт эти методы из-за незначительного коэффициента использования нерентабельны. Некоторые верфи по постройке больших яхт в порядке кооперации передают лакировку оборудования методом разбрызгивания крупным изготовителям качественной мебели.

На большинстве верфей все малярные работы до сих пор ведутся вручную. Существуют многообразные методы и приемы работы. Лакировку на борту осуществляют только на немногих квалифицированных верфях. Нелакированные деревянные детали монтируют на яхте и после соответствующей шлифовки и пропитки лакируют. На борту окончательная лакировка не получается такой качественной, как в чистом специализированном цехе. Рационально, например, большие переборки, предназначенные для покрытия цветным лаком, грунтовать и первый раз покрывать лаком в цехе. То же относится к настилам в каютах и т. п.

Лакировку готовых деталей оборудования и секций в цехах производят крупные верфи, отличающиеся высоким качеством отделки. Условием для этого является вырезание заготовок всех деталей по точным шаблонам, снятым с места на борту яхты. Детали, отлакированные в цехе, целесообразно обклеивать картоном для защиты их поверхности от непредвиденных повреждений.

Состав лаков и их цена — важные факторы. Обычный масляный лак с искусственной смолой стал более стойким, чем в прежние времена. Как однокомпонентный лак его можно относительно просто обрабатывать. Для предупреждения развития грибковой плесени и гнили применяется следующая схема покрытия: два слоя грунтовой краски; предварительная лакировка; окончательный слой лака. Если требуется сохранить естественную текстуру дерева, то нужно нанести четыре слоя лака, чтобы получить хорошую лакированную поверхность.

Более прочными к царапинам и ударам являются двухкомпонентные лаки на основе полиуретана (ДД), полиэфира и, конечно, эпоксидные смолы. Однако эти лаки дороже, и в случае их применения повышаются расходы на пульверизатор и более трудоемкую шлифовку между отдельными слоями лака. Из-за большей твердости двухкомпонентного лака соответственно требуется дольше шлифовать отлакированные поверхности, чем если бы они были покрыты однокомпонентным лаком.

Шлифовка между отдельными процессами лакировки имеет решающее значение для окончательного качества поверхности. Речь идет о том, чтобы заполнить поры древесины и достичь зеркальной, чистой поверхности. Оставить ли окончательную лакировку блестящей или придать ей матовый оттенок шлифовкой — это дело вкуса. Менее восприимчива к оттискам пальцев матовая шлифовка, но некоторые места от частого прикосновения

к ним пальцев приобретают жирный блеск. Обработав эти места мелкой шкуркой, можно получить вновь желаемый матовый оттенок.

Большинство изготовителей серийных яхт применяют экономичный способ лакировки специальными лаками, которые используют в мебельной промышленности. После пропитывания деревянных поверхностей разбавленным двухкомпонентным лаком достаточно в большинстве случаев только еще одного покрытия мебельным лаком, чтобы достичь удовлетворительной поверхности древесины с открытыми порами. Неспециалистам трудно бывает отличить с первого взгляда такую лакировку с оттенком от настоящей лакировки с промежуточной шлифовкой. Благодаря сокращению многократно повторяемых процессов лакировки и шлифовки достигается существенная экономия средств.

Несмотря на то что двухкомпонентное покрытие хорошо противостоит царапинам и ударам, его не сравнить, конечно, с настоящей многослойной лакировкой.

Защитную лакировку внутренних деталей оборудования, которые не определяют интерьер каюты, можно выполнять также двухкомпонентным лаком. Как правило, достаточно пропитывания разбавленным лаком с последующей шлифовкой и лакировкой. При более высоких требованиях необходимо наносить еще один слой лака. Проще в обработке лаки на однокомпонентной основе, применяющиеся также для покрытия паркета. Для получения хорошей защитной пленки и пропитывания пор древесины достаточно нанести два слоя лака с легкой шлифовкой каждого из них.

## 7.7. ОБОРУДОВАНИЕ ПАЛУБЫ И ДЕЛЬНЫЕ ВЕЩИ

*Битенги, киповые планки, утки и кнехты* мало изменились по форме за последние десятилетия. Появляющиеся время от времени нецелесообразные модные очертания этих деталей исчезают относительно быстро. Для морских яхт малых и средних размерений оборудование палубы кроме леерного ограждения должно как минимум включать: две носовые швартовные утки или кнехты; две носовые киповые планки в виде полуклюзов или клюзов; две кормовые утки или битенги; две кормовые киповые планки с полуклюзами или клюзами (рис. 154, *а, б*). Размеры этих деталей зависят от диаметра швартовных тросов, которые должны соответствовать диаметру предписанных Правилами Ллойда буксирных тросов из перлона. В сомнительных случаях при выборе размеров дельных вещей надо попробовать закрепить за них жесткий синтетический канат, который позднее будет использоваться как буксирный трос. Более эластичный швартовный конец из плетеного искусственного материала можно удобнее закрепить, чем громоздкий буксирный трос из перлона.

Крепление уток и кнехтов должно выдерживать нагрузку, равную разрывной прочности буксирного троса, или даже несколько большую. С этой целью устанавливают два носовых кнехта или две утки, размеры которых на один или два номера больше, чем требуется по правилам постройки. В плохую погоду приходится буксировать яхту, закрепив буксир за одну утку, так как современные степсы мачт для этой цели не годятся. Если нежелательно устройство больших уток на носу, то устанавливают один солидный буксирный битенг или кнехт. Расположение кнехтов и других деталей для швартовки зависит от общего размещения оборудования на палубе. Это можно видеть на примере планировки палубы 14-метровой килевой яхты (см. рис. 176).

Конструкция креплений дельных вещей на палубе зависит от воспринимаемых ими нагрузок. Чаще всего их крепят на болтах из нержавеющей стали. Это лучший материал для крепления, так как он оказывает наименьшее электролитическое действие на все другие металлы, сопряженные в данном узле. В случае деревянных конструкций надо обращать внимание

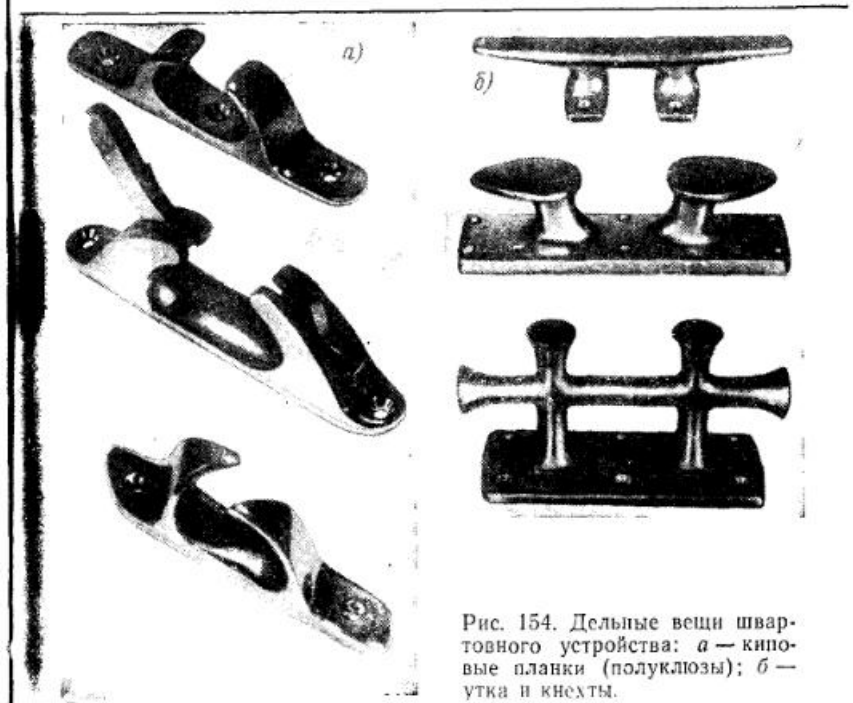



Рис. 154. Дельные вещи швартовного устройства: *а* — киповые планки (полуклюзы); *б* — утка и кнехты.

Все кромки киповых планок должны быть хорошо закруглены, так как швартовы из синтетических тросов чувствительны к трению.

на то, чтобы прокладочные шайбы под палубой имели диаметр по крайней мере в четыре раза больше диаметра болта и толщину, равную половине диаметра болта, так как иначе при высокой нагрузке шайбы вдавятся в дерево. Шайб таких размеров нет в продаже, их изготовляют квадратной формы из обрезков листов металла. При очень высоких нагрузках под буксирный битенг или утку лучше всего ставить большие прокладочные пластины, деревянные подушки или угольники (рис. 155).

Крепление дельных вещей не должно нарушать водонепроницаемости палубы. Хорошим уплотнением служит мастика для заливки пазов палубы на двухкомпонентной основе. Она остается всегда эластичной и обладает дополнительной способностью воспринимать нагрузки, действующие на срез. Мастику наносят на палубу под основания дельных вещей так, что при затягивании крепежных болтов она обильно выступает по краям, обеспечивая тем самым хорошее уплотнение.

Через отверстия в палубе для болтов между головкой, стержнем и по резьбе под палубу может проникать вода. Чтобы воспрепятствовать этому, нужно обильно смазать мастикой головку болта и отверстие в детали. Можно также намотать тонкую шерстяную нить или немного пакли вокруг смазанной головки болта. Аналогичным образом выравнивают неровности в отверстии или головке болта.

Дельные вещи в настоящее время большей частью изготовляются из нержавеющей стали, содержащей минимум 2% молибдена для хорошей устойчивости против морской воды. Несмотря на это поверхности дельных вещей надо полировать во избежание появления светлокоричневой воздушной ржавчины, а также время от времени чистить. Полировка головок болтов со шлицами затруднительна. При высоком качестве работ применяют специальные болты без шлица со слегка выпуклой и полированной головкой, которая утапливается в раззенкованное коническое отверстие в основании дельной вещи и удерживается во время затяжки гаек за счет сил трения.

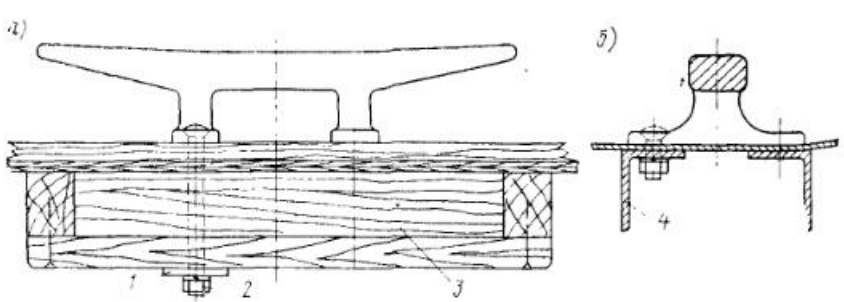



Рис. 155. Крепление утки к деревянной (*а*) и стальной (*б*) палубе.
*1* — шайба 40×5; *2* — болт М10; *3* — деревянная подушка; *4* — угольник 50×40×5.

Очень устойчивы к коррозии дельные вещи из плотного алюминиевого литья, которые также могут быть полированными или анодированными. Хорошая цинковая и магниевая бронза также устойчива к морской воде. Хромировка, однако, держится на морской яхте редко больше двух лет.

*Леерное ограждение* сегодня на всех морских яхтах является обязательным устройством. Предписания по безопасности требуют, чтобы высота леерного ограждения была не менее 610 мм, а максимальное расстояние от палубы до леера, а также от одного леера до другого не превышало 305 мм. Расстояние от стойки до стойки не должно превышать 2,15 м. Правила регламентируют и многие другие детали леерного устройства.

Леерные стойки выполняют из трубы нержавеющей стали диаметром 25—28 мм при толщине стенки 2,8—3 мм. Носовой и кормовой релинги делают по шаблону из толстой проволоки, который сгибают на борту яхты для получения правильной формы. Приготовленные заранее опорные пластины привинчивают к палубе и крепят к ним концы стоек на электроприхватках. Для окончательной сварки и доработки рамы релингов снимают с борта. При изготовлении релингов для серийных яхт обычно пользуются одним и тем же шаблоном или даже сваривают их в кондукторе. Стойки леерного ограждения и гнезда для них часто выпускаются в виде стандартных деталей. Стойки вставляют в гнезда и контрят винтами или шплинтами. Элегантные стойки, уменьшающиеся в диаметре к верхней части, в большинстве случаев не дают никаких преимуществ, так как их изготовляют прессованием из нормальной трубки. Поэтому толщина стенок у верхнего конца получается больше и, следовательно, нет никакого выигрыша в массе.

Важно, чтобы гнездо было достаточно прочным и не сдвигалось даже при изгибе стойки. Это позволяет сгибать стойки в прикрепленном к палубе гнезде на нужный угол. Гнезда обычно снабжают одним или двумя прочными обушками для крепления страховочных поясов экипажа или найтовов деталей снаряжения яхты. На больших стальных яхтах стойки иногда просто приваривают к палубному насти-

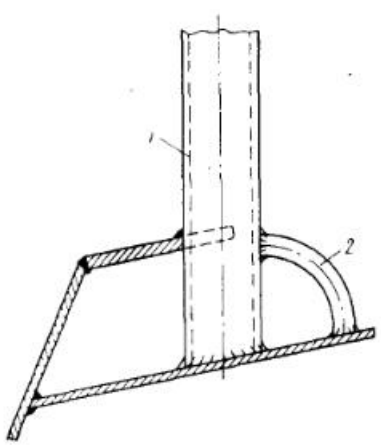



Рис. 156. Крепление леерной стойки на стальной яхте.
*1* — стойка из трубы 30×3; *2* — обушок из прутка Ø 8 мм.

лу и фальшборту (рис. 156). Леера изготовляют из нержавеющих стальных тросов диаметром 4—5 мм конструкции 7×19, 7×7 или 1×19. Верхний леер по крайней мере должен иметь пластмассовую оболочку толщиной минимум 1 мм, чтобы поручень был более удобным. На концах лееров ставят или опрессованные наконечники или коуши с талрепами для натяга. Талрепы в набитом состоянии должны быть не длиннее 100 мм.

Маленькие яхты, например полутонники, могут иметь только один леер на высоте 450—560 мм над палубой. Однако с таким леерным ограждением яхту могут не допустить к морским гонкам. Для еще меньших яхт (четвертьтонников) мини-релинги применяются широко; на легких трейлерных лодках часто предусматривают только релинг в носовой части палубы.

*Планки* (рельсы) для крепления блоков шкотов раньше делали в виде простых плоских профилей из оцинкованной стали, бронзы или латуни. По ним ходил ползун с обушком для блока шкота и стопорным винтом для установки блока в определенном положении. Необходимое расстояние шкотовой планки до верхней кромки палубы обеспечивала прокладка из твердого дерева, которая была уже на 8—10 мм, чем металлическая планка, и которую очень точно надо было крепить болтами под середину металлической полосы. Если деревянная прокладка получала смещение относительно середины рельса, ползун застревал в этом месте. Кроме того, набухание деревянной планки вследствие постоянной сырости тоже приводило к заеданию ползуна. Эту примитивную конструкцию, к сожалению, применяют еще и сегодня.

Значительным усовершенствованием является применение вместо деревянной рейки пластмассовой полосы, которая не набухает. Иногда вместо нее ставят маленькие пластмассовые шайбы-прокладки, которые обеспечивают необходимый зазор для скольжения ползуна (рис. 157). В последнее время поставляют прессованные профильные планки из анодированного алюминия, что, однако, недостаточно удовлетворяет повышенным требованиям к прочности этих деталей. Крепление таких шкотовых планок осуществляется на болтах при сравнительно малом расстоянии между ними. Чем длиннее основание ползуна, тем больше может быть расстояние между болтами. В качестве исходного значения для шага крепежа можно взять 15-кратную толщину шкотовой планки. Диаметр болтов не должен быть меньше толщины шкотовой планки; делать их лучше из нержавеющей стали. При деревянной конструкции палубы под гайки необходимо ставить увеличенные шайбы диаметром, равным четырехкратному диаметру болта, и толщиной не менее половины диаметра болта. Для обеспечения надежной водонепроницаемости используют уплотняющую мастику и подмотку болтов шерстяными нитками.

Шкотовые планки для погонов гика-шкота и автоматического стакселя бывают в виде двутавра, швеллера или Х-образной планки, из которых последняя форма применяется чаще всего. Соответствующие ползуны или шкотовая направляющая каретка легко скользят по ним на пластмассовых или даже шарикоподшипниковых роликах. Эта конструкция относительно сложная и дорогая. Простой роликовый ползун с большим пластмассовым роликом, скользящий по трубе, выполняет также свое назначение (рис. 158), если не предъявлять слишком высоких требований к легкоходности. У такого роликового ползуна есть бесспорное преимущество: при различных направлениях шкота он не перекашивается и не заедает.

Существуют многочисленные конструкции ползунов для блоков шкотов передних парусов, например, с шарнирно закрепленными на них шкотовыми блоками. Такие блоки чаще всего имеют шарнир только в поперечном направлении. По сравнению с обычно используемыми блоками с вертлюжным гаком, который заводят в обушок ползуна или закладывают специальным

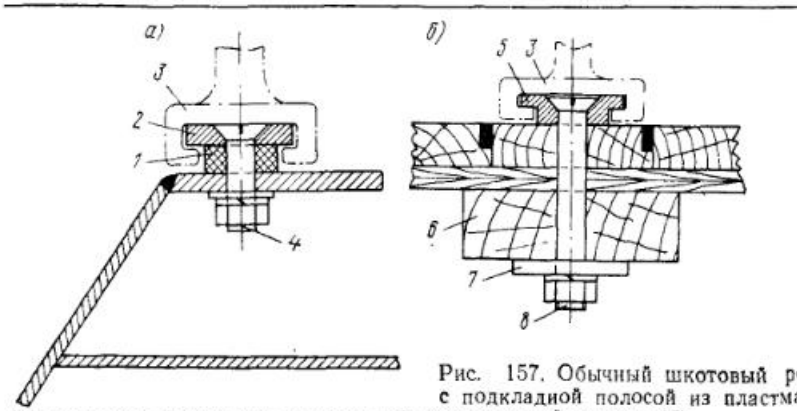



Рис. 157. Обычный шкотовый рельс с подкладной полосой из пластмассы (*а*) и шкотовый рельс из профильной прессованной полосы (*б*).

*1* — пластмассовая планка 20×7; *2* — рельс из нержавеющей стали, 30×6; *3* — ползун; *4* — болт М8, шаг 90 мм; *5* — прессованная планка 28/20×8; *6* — деревянная планка; *7* — шайба 32×4; *8* — болт М8×60, шаг 120 мм.

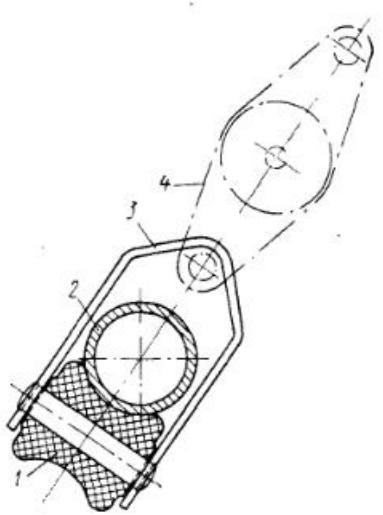



Рис. 158. Простой роликовый ползун на трубчатом погоне.

*1* — пластмассовый ролик; *2* — труба; *3* — обойма; *4* — блок.

карабином, они хуже ориентируются относительно направления тяги шкота. Поэтому их применяют вместе с блоком, изменяющим направление шкота и установленным у конца шкотовой планки неподвижно на палубе в виде направляющего ролика. От этого блока шкот проводят затем на лебедку. Идеальным был бы смонтированный на ползуне и поворачивающийся во все стороны блок. Самая надежная фиксация ползунка на шкотовой планке — с помощью болта с накаткой на головке, но многие предпочитают пружинные стопорные болты, благодаря которым можно быстрее найти отверстия в планке.

## 7.8. РАНГОУТ, ТАКЕЛАЖ И ОБОРУДОВАНИЕ ПАЛУБЫ

Деревянные или алюминиевые *мачты*? Этот вопрос уже решен несколько лет назад, когда известный гонщик одной высококвалифицированной верфи по постройке яхт дал задание спроектировать деревянную мачту, которая в техническом отношении превосходила бы имевшиеся в то время алюминиевые мачты. Несмотря на сложную конструкцию и найденную качественную древесину спруса это оказалось невозможным. С тех пор продолжали усовершенствовать алюминиевые мачты. Древесина спруса стала дефицитным материалом. Деревянная мачта стоила бы в настоящее время во много раз больше обычной алюминиевой мачты. Однако, если судостроитель-любитель желает сэкономить на изготовлении рангоута, то целесообразна только простая коробчатая мачта из ели с малым количеством сучков, изготовляемая специалистами по дереву. Так как из-за неоднородности материала коэффициент запаса прочности должен быть весьма высоким, то масса мачты увеличивается более чем на 50% по сравнению с массой алюминиевой мачты. Это сильно сказывается на остойчивости яхт и прежде всего яхт, которые не имеют тяжелого фальшкиля. На яхте «Омега», например, надо было бы добавить 93 кг балласта в киль, чтобы получить такую же остойчивость, как у яхт с серийной алюминиевой мачтой.

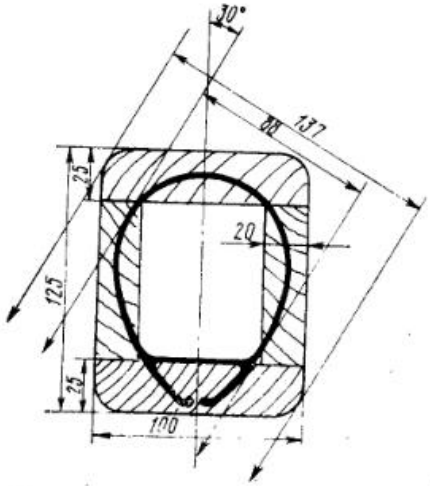



Рис. 159. Мачта яхты «Омега» из дерева и алюминия.

Другой недостаток мачты из дерева — ее большие размеры. Это сказывается прежде всего на острых курсах к ветру и выражается в значительном увеличении турбулентной зоны потока воздуха, попадающего на грот. На примере мачты для яхты «Омега» (рис. 159) можно установить, что при угле вымпельного ветра под 30° к ДП увеличение зоны турбулентности примерно на 56% больше, чем у яхты с алюминиевой мачтой. Если вспомнить еще о том, что сегодня стоимость анодированной алюминиевой мачты с гиком, краспицами, патент-рифом и всеми дельными вещами составляет примерно 3% от общей стоимости яхты, то станет ясно, почему деревянная мачта для современных яхт не может быть больше предметом дискуссии.

Опытные изготовители металлических мачт располагают эмпирически полученными данными, в которых основой для расчета поперечного сечения мачты являются только длина и ширина судна, водоизмещение и парусность. С помощью этих упрощенных таблиц нельзя получить, конечно, оптимальной мачты минимальной массы. Если изготовитель мачт рекомендует определенный профиль, то он естественно заинтересован в том, чтобы его профиль выдержал без повреждений гарантийное время. С другой стороны, важно избежать излишней массы рангоута. Следует заботиться не только об улучшении статической остойчивости, но и об уменьшении масс, расположенных достаточно далеко от центра продольных колебаний судна. Последний находится обычно в середине судна немного ниже ватерлинии. Каждый килограмм лишней массы мачты повышает тенденцию к килевой (продольной) и бортовой качке яхты и снижает мореходность и скорость судна.

Теоретически изготовить легкую мачту можно, применяя профили большого диаметра и тонкие стенки. Однако крепление дельных вещей к тонким стенкам вырастает в проблему, большое поперечное сечение мачты вследствие увеличения турбулентной зоны натекающего на грот потока при крутом курсе ветру оказывает большое сопротивление движению яхты.

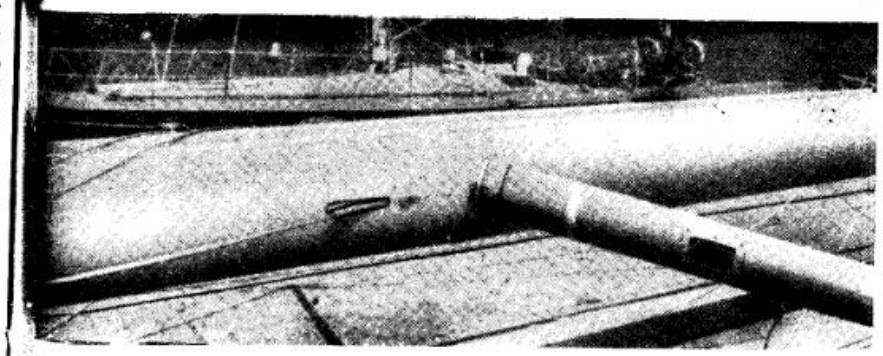


Рис. 160. Крепление основных вант и краспиц на алюминиевой мачте крейсерско-гоночной яхты.

С созданием специальных алюминиевых профилей существенно изменилась и конструкция дельных вещей для крепления такелажа к мачте и гику. При этом наряду с разработкой рациональной технологии на передний план выступили вновь масса и обтекаемость конструкций. Эта тенденция ясно усматривается из противопоставления различных дельных вещей для крепления к мачте нижних вант. В современном исполнении (рис. 160) опрессованный наконечник нижней ванты пропускается в шлиц, прорезанный в профиле мачты. Все крепление расположено внутри мачты. Обтекаемый алюминиевый профиль краспицы вставлен в сварной башмак из тонколистовой нержавеющей стали. Один-единственный тонкий винт страхует краспицу от выпадения. Все детали легкие, обтекаемые и рациональные по технологии. Традиционная конструкция наружного крепления нижних вант (рис. 161) копирует применявшуюся ранее на деревянных мачтах. Она не только тяжелее и не так обтекаема, но и значительно дороже. То же можно сказать о краспицах и их креплении.

Большинство дельных вещей самой легкой конструкции изготовляют сварными из алюминиевых сплавов, а при постройке большой серии яхт — литыми из таких же сплавов. Конструкции из нержавеющей или оцинкованной стали, которые иногда еще делают любители-судостроители без расчета и поэтому с

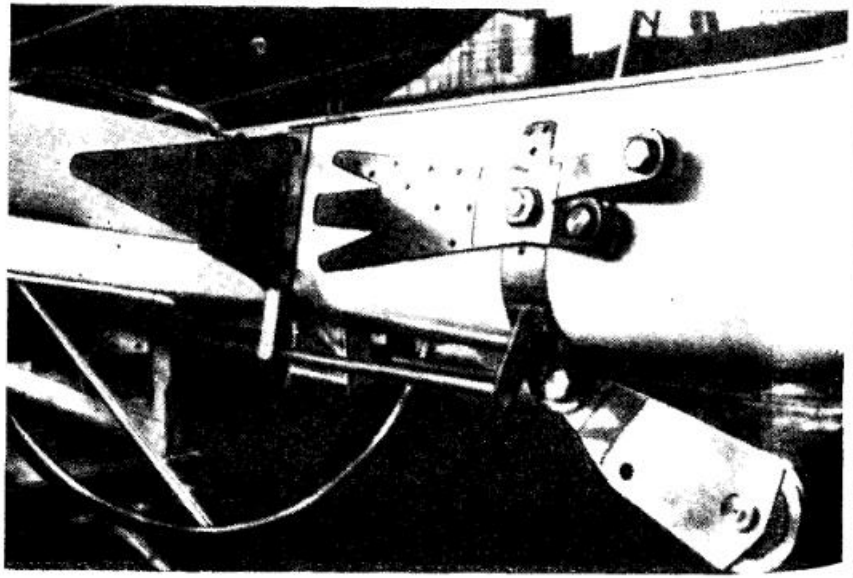


Рис. 161. Традиционный узел крепления нижних вант и краспиц на деревянной мачте моторно-парусной яхты.



большим запасом прочности из-за опасения поломок, в настоящее время больше не представляют интереса для профессионального яхтостроения.

*Стоячий такелаж.* Базовыми данными для расчета вант являются остойчивость яхты и расположение вант, прежде всего угол между вантами и мачтой. Тросы из нержавеющей стали почти полностью вытеснили оцинкованные стальные тросы, применявшиеся ранее для этих целей. Чтобы ванты по возможности меньше растягивались под нагрузкой, их делают немного толще, особенно верхние ванты и топштаг. Применяют преимущественно жесткие тросы конструкции 1 × 19, свитые из самой толстой проволоки. Однако жесткости даже такого троса часто оказывается недостаточно, чтобы удовлетворить высоким требованиям, которые предъявляют гонщики к деформации вант и штагов. Поэтому в последние годы были разработаны и применены штаги и ванты из профильной стали, которые при появляющихся нагрузках почти не получают удлинения. Для топштага были разработаны обтекатели из пластмассы или алюминия с одним или двумя ликпазами для постановки передних парусов. Таким образом, любой передний парус имеет прямую и хорошо обтекаемую переднюю кромку и есть возможность ставить новый стаксель прежде, чем уберут старый.

Яхтсмены-туристы, наоборот, предпочитают обычные карабины для постановки паруса на штаге. Но и они нередко используют двойной топштаг, хотя в крейсерском плавании нет необходимости экономить секунды при смене парусов. Для конструктора, конечно, увеличение массы и воздушного сопротивления из-за второго штага являются нежелательными факторами.

Рациональность использования устройства для закрутки стакселя вокруг штага на морской яхте вызывает сомнение. Оснащение яхты двойным штагом часто мотивируется необходимостью обеспечения безопасности в дальнем плавании. Однако, если мачта раскреплена нижними вантами, разнесенными в нос и в корму, а также внутренним штагом, то благодаря этому при обрыве топштага есть некоторый шанс сохранить мачту и добраться в гавань под гротом. Следовательно, двойной штаг не нужен и нерационален.

Талрепы для натяжения вант и штагов в принципе не изменились. Сегодня их делают почти исключительно из хромоникелевой стали, стойкой к воздействию морской воды. Часто резьбовые наконечники и гильзы изготовляют из разнородных материалов во избежание заедания в нарезке. Обязательные скобы, являющиеся шарнирами между талрепом и вант-путенсом, препятствуют изгибанию винта талрепа от непредвиденных боковых нагрузок на ванты и штаги. В качестве стопоров используются контргайки.

На гоночных яхтах вошло в обыкновение устанавливать регулируемые ахтерштаг и основной топштаг. С их помощью мачте придают правильный изгиб в зависимости от силы и направления ветра и раскроя паруса. На средних яхтах для регулировки натяжения применяют винтовой шпиндель с ручным маховиком. Большие яхты снабжают сегодня гидравлическими устройствами, управляемыми из кокпита, где находится помпа с убирающейся ручкой и разгрузочным клапаном.

Наконечники, напрессованные на обоих концах штагов и вант, несут большую нагрузку. Чаще всего наконечники выпускаются с ушком или вилкой. Гильзу из нержавеющей стали с просверленным отверстием, которое точно соответствует диаметру троса, обжимают с помощью пресса по вставленному в наконечник тросу (рис. 162, *а*). Постоянный контроль за диаметром троса, отверстиями наконечников и давлением, которое создает опрессовочное приспособление, являются предпосылками надежности закрепления троса в наконечниках. Если не придают особого значения внешнему виду соединений, можно использовать зажимные втулки для канатов, которые в сочетании с коушем заменили прежний огон. Втулки обжимают прессом, а при небольшом диаметре троса — в специальных тисках почти до круглого поперечного сечения (рис. 162, *б*).

Наконечник типа «Норсеман» — английский патент канатного зажима — кажется единственно надежной и элегантной конструкцией для штагов, которые можно устанавливать без специальной аппаратуры (рис. 162, *в*). Достаточно иметь два гаечных ключа. Принцип конструкции в том, что тонкий

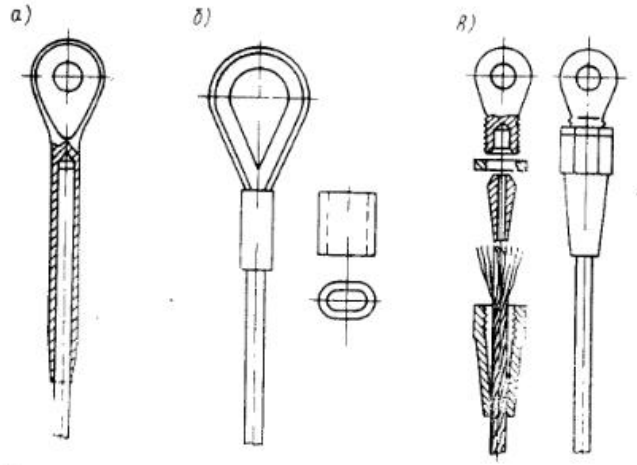



Рис. 162. Наконечники для тросов стоячего такелажа: *а* — наконечник, напрессовываемый на трос; *б* — втулка, напрессованная на трос, согнутый в петлю; *в* — разъемный наконечник типа «Норсеман».



конический штифт запрессовывают в середину проволочного троса; при этом возникает держащая сила вследствие трения между коническим штифтом, распущенным на проволоки тросом и внутренней поверхностью конической гильзы. Каждый любитель может таким путем на месте довести стоячий такелаж на своей яхте до требуемой длины и сам установить наконечники. Единственным недостатком этой конструкции является высокая цена.

*Бегучий такелаж.* Наружная проводка фалов почти совсем не применяется на современных яхтах. Только парусные школы, яхтсмены, идущие вокруг света, и упорные приверженцы старины не отказались еще от них, так как в этом случае повреждение фала (перед его разрывом) может быть обнаружено своевременно. Гонщики, без сомнения, по причине высокого воздушного сопротивления таких снастей ратуют за внутреннюю проводку фалов. Впрочем и для современных туристских яхт внутренняя проводка фалов признается рациональной. На случай обрыва фала должна быть предусмотрена возможность быстрой его замены запасным фалом. Поэтому для одномачтового судна принято предусматривать по две пары фалов стакселя и грота. В резервной паре обычно основаны проводники из тонкого, но прочного линя, с помощью которых можно быстро провести запасной фал из стального троса. Вместо линя применяют более тонкий, чем штатный фал, стальной тросик, который можно использовать или как временный грота-фал, или как проводник для запасного фала.

Для фалов почти исключительно применяют тросы конструкции $7 \times 19$ из нержавеющей стали, концы которых или крепят прямо на барабанах лебедок или снабжают шкентелем из мягкого синтетического троса для ручной выборки. Чтобы обеспечить продолжительный срок службы фала, диаметр шкива должен составлять не менее 16 (лучше 20) диаметров троса.

Пластмассовые трубки, расположенные внутри мачт для пропуска в них фалов, теперь не применяются. В отдельных местах в мачте устанавливают кипы и роульсы для направления фалов. Фалы, проведенные правильно, практически не могут перекрутиться друг с другом, если они не несут нагрузки.

Существует тенденция делать нижнюю часть мачты так же хорошо обтекаемой, как и верхнюю, поэтому лебедки для фалов размещают все чаще на палубе вблизи специального кокпита для лебедок или общего кокпита. Проводка фалов над палубой при правильном расположении не мешает работе с парусами и их можно использовать в качестве ножного леера.

Сторонники дальнейших усовершенствований перенесли уже трубку для проводки фалов под палубу. Рациональность этого решения пока что вызывает сомнение. Размещение фаловых лебедок у кокпита, наоборот, может иметь преимущества для

яхтсменов-туристов. Рулевой в этом случае имеет возможность помогать при взятии или отдаче рифов и поэтому можно ходить под парусами вдвоем даже на больших яхтах.

Для выборки фалов рекомендуется лебедка с замедленным ходом — с усиливающей передачей. Одноходовой лебедки для поднятия парусов, особенно передних, оказывается недостаточно.

Ранее распространенные хлопчатобумажные *шкоты* практически исчезли из продажи из-за их высокой цены и недостаточной прочности. Сегодня широко применяются шкоты из перлона, нейлона, тревира (дакрон) и других синтетических волокон. С одной стороны, шкот должен быть очень гибким и не давать калышек, с другой стороны, от него требуется высокая прочность на разрыв и большая эластичность. Этого можно достичь, применяя комбинированный трос, состоящий из прочного сердечника и гибкой плотной оболочки. При необходимости сращивания эту оболочку убирают, а после выполнения сплесня вновь надевают на сплесень. Такой трос дороже, чем простой плетеный шкот, но он этого стоит.

Важное значение наряду с прочностью имеет возможность работы со шкотами рукой. На малых яхтах практически нет шкотов диаметром меньше 12 мм, а на яхтах средних размеров — 14—16 мм. Исключение составляют только сверхлегкие шкоты для летучего кливера и спинакера для самого слабого ветра (применяют трос диаметром 6 мм).

Проводке шкотов, особенно для передних парусов, на гоночных яхтах придают большое значение. Положение их кип регулируют не только в продольном направлении благодаря ползунам, скользящим по направляющим рельсам, но часто делают еще второй рельс, который проходит на некотором расстоянии параллельно первому и позволяет регулировать положение кип в поперечном направлении. Для возможности лучшего использования имеющихся шкотовых лебедок применяют проводку шкотов с направляющими блоками для изменения направления тяги.

Существуют одноходовые, двухходовые, трехходовые лебедки и так называемые «кофейные мельницы» со многими обслуживаемыми ими дистанционно головками шпилей (барабанами), которые могут работать отдельно или совместно. Эти лебедки более тихоходные и с легким ходом, работают часто в масляной ванне и удерживают шкот с большей силой, чем лебедки других типов. Стоимость этих устройств высока, но большинство яхтсменов-гонщиков это не пугает.

Для оборудования яхты средних размеров нужно установить только по одной лебедке для шкотов правого и левого бортов. Если ставят спинакер, то желательно применить еще две лебедки, но необязательно. Пятая лебедка для гика-шкота также нужна, если не приходится рассчитывать на лишние силы.



Такое оснащение лебедки достаточно для яхт длиной до 20 м. Однако если речь идет об успешном участии яхты в гонке, существенную роль играет время, затрачиваемое экипажем на тот или иной маневр. Сэкономить драгоценные секунды помогает большое число дорогостоящих шкотовых лебедок и их правильное расположение (рис. 163). Может представить интерес следующее приблизительное соотношение между стоимостью основных типов лебедок при одинаковом диаметре барабана:

| Лебедка | Соотношение, % |
|---|---|
| Одноходовая без редукции | 100 |
| Двухходовая, один ход с редукцией | 140 |
| Двухходовая, оба хода с редукцией | 180 |
| Трехходовая, все хода с редукцией | 250—350 |

В настоящее время одноходовые лебедки применяют только на небольших яхтах или используют их для шкотов автоматического стакселя. В качестве стандартной определилась двухходовая лебедка с редукцией обоих ходов.

Вероятно, из-за стремления сэкономить средства у яхтсменов появилась тенденция устанавливать шкотовые лебедки на размер меньше, чем это необходимо. Однако лучше предусмотреть две лебедки хороших размеров для генуи и использовать их для работы со спинакером.

Новшеством последних лет является шпиндельная оттяжка гика, которая заменила обычные тали (рис. 164). Шпиндель из нержавеющей стали снабжен резьбовой втулкой, которая получает аксиальное перемещение при вращении маховика. Эта втулка закреплена на конце алюминиевой трубки. Конец шпинделя укреплен с помощью шарнира на задней кромке мачты рядом с выходом из нее фалов. Конец трубки у гика также имеет шарнир.

С помощью этой оттяжки можно регулировать натяжение задней шкаторины грота в широких пределах, причем шпиндельная оттяжка позволяет это делать точнее, чем ранее применявшиеся эластичные тали для оттяжки гика.

Многим гонщикам уже давно мешают спинакер-гики, обычно укладываемые по-походному на баке яхты. На однотоннике «Идра» спинакер-гики помещены в трубы, которые закрыты потайной крышкой (рис. 165). Иногда спинакер-гики закрепляют пятками в нужных точках по высоте на мачте, благодаря чему они готовы к немедленному использованию. Ноки спинакер-гиков в этом случае крепят на носовом релинге. Для этого обе задних стойки релинга располагают так далеко в корму, чтобы конец висящего спинакер-гика даже в самом верхнем положении ползуна на мачте находился бы в районе этих стоек. Крутые полукруглые изгибы в нижней части стоек служат гнездом для спинакер-гиков (рис. 166). Выше изгиба обе задних стойки скошены внутрь на 5—10°, чтобы вверху вновь быть снаружи

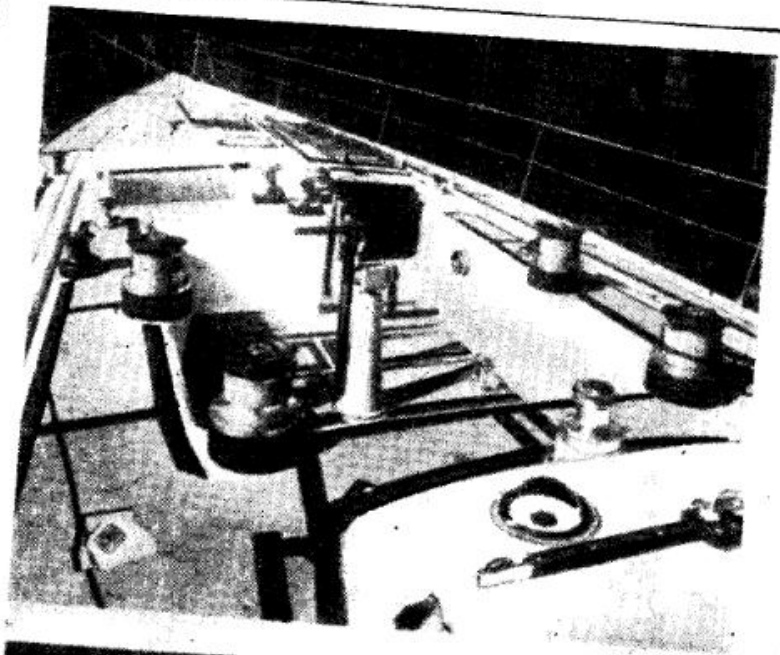


Рис. 163. Функциональное расположение шкотовых лебедок на палубе яхты «Христина».

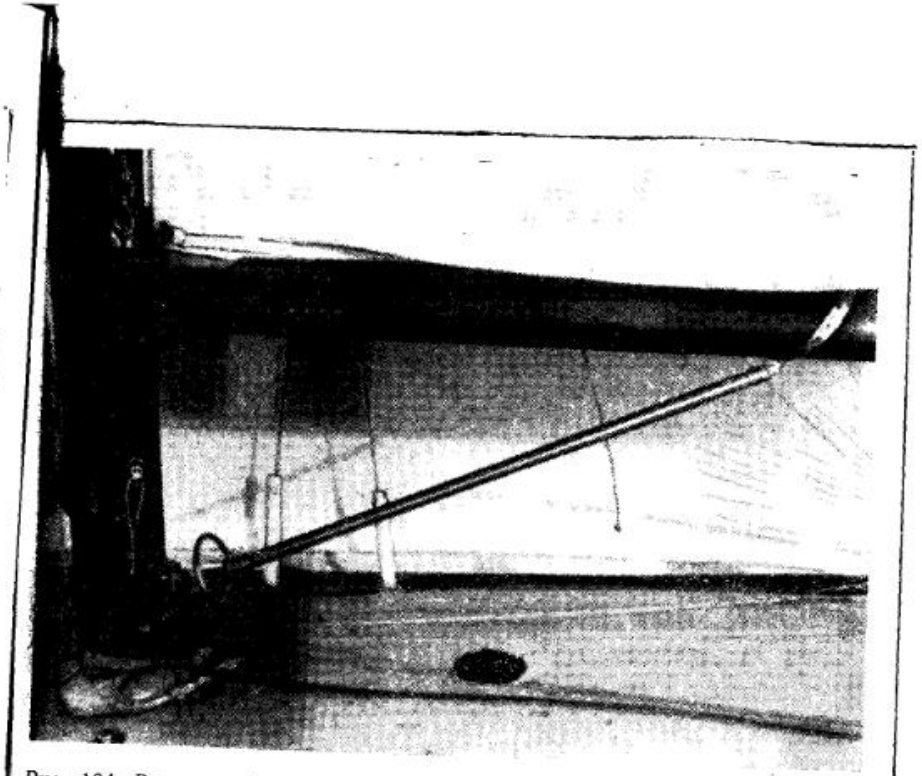


Рис. 164. Винтовая (шпиндельная) оттяжка гика заменила на современных яхтах традиционные тали.

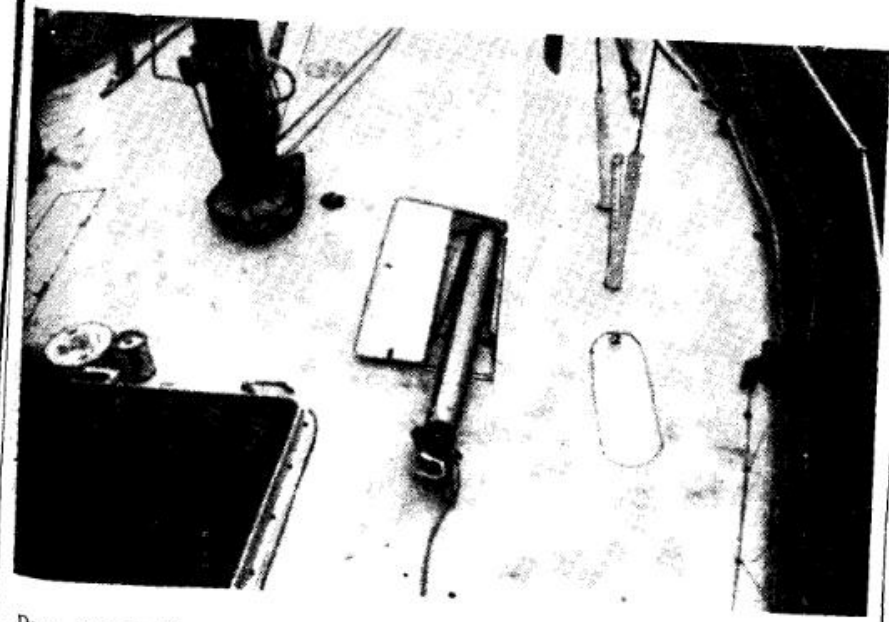


Рис. 165. Труба для хранения спинакер-гика по-походному, вмонтированная в палубу.

полукруглыми. Благодаря такой конфигурации стоек спинакер-гик можно поднять в любое положение, не боясь зацепить им за стойки. Обе передние стойки расположены на высоте оковки спинакер-гика при нижнем положении ползуна на мачте. Полукруглые изгибы, имеющиеся у стоек внизу, идут вверх, прямо к поручню.

Описанные детали вооружения — только некоторые примеры из богатой палитры возможностей, которыми может пользоваться яхтсмен-гонщик. Часто они бывают «гвоздем программы» и в большинстве случаев исчезают через несколько лет из-за своей высокой цены или выявления определенных недостатков. Яхтсмен-турист в меньшей степени заинтересован в экспериментах. Сенсационные новшества, применяемые на гоночных яхтах, он рассматривает критически и оценивает по отношению их стоимости к получаемому техническому эффекту.

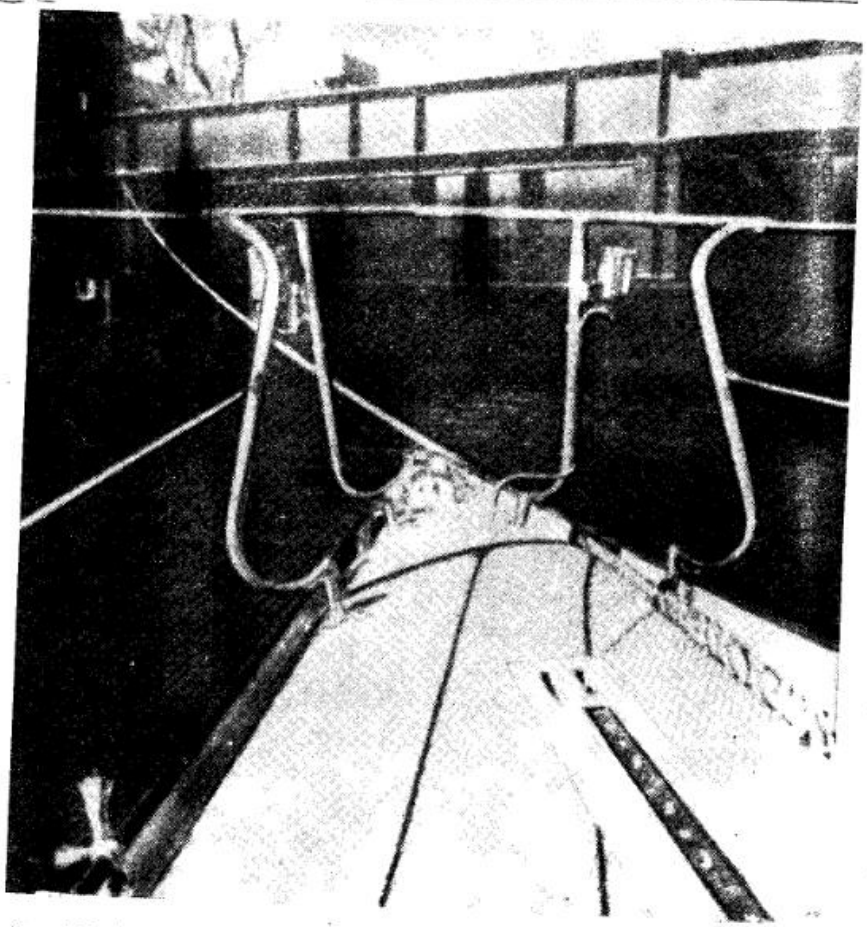


Рис. 166. Носовой релинг, приспособленный для крепления по-походному двух спинакер-гиков.

## 7.9. ПАРУСА

Пошив парусов стал привилегией специалистов — парусных мастеров. Чертежи парусности, содержащие все размеры парусов по шкаторинам, конструкторы делают в редких случаях. Многие конструкторы, проектирующие яхты по формуле IOR, указывают в чертежах парусности лишь размеры шкаторин грота, высоту мачты и размеры переднего парусного треугольника, причем 150% перекроя основания треугольника нижней шкаториной генуи принимали как обязательное. Промежуточные ступени деления парусов внутри переднего треугольника они оставляют на совесть парусного мастера. Если парусный мастер является одновременно активным гонщиком или имеет высокую квалификацию и большой опыт, можно надеяться на успешное решение этой задачи.

Следующий шаг — выбор материала. В связи с исчезновением достаточно прочных и надежных хлопчатобумажных парусов можно выбирать между различными синтетическими материалами. Из большого числа названий в последние годы для основных парусов в большинстве случаев применяют дакрон, а нейлон используют преимущественно для спинакеров. Поскольку для раскроя паруса качество материала является решающим, опытные парусные мастера сейчас предпочитают ограничиваться немногими опробированными видами ткани. Если оборот парусного мастера достаточно большой, он может даже позволить себе заказывать ткань по собственным спецификациям, благодаря чему у него появляется возможность контролировать качество ткани.

Во избежание изменения формы парусов из-за диагонального (под углом к нитям основы и утка) растяжения более легкие материалы для парусов обычно пропитывают синтетической смолой, что придает им пергаментообразный вид. Ткань поставляется в рулонах шириной 90 см — это подходящий размер для парусов яхт длиной до 10 м. Для бо́льших яхт целесообразно применять особо плотную ткань, которая выделывается по особому заказу в виде так называемых узких полос шириной примерно 60 см. Парус из узких полос, хотя и дороже (примерно на 30%), но лучше держит форму долгое время.

Аппретированная ткань с течением времени мнется и теряет свои свойства, поэтому паруса стоят уже небезупречно. Несмотря на это нельзя отказываться от пропитывания более легких материалов. Это относится прежде всего к нейлону, используемому для полотнищ спинакеров, пропитка которого необходима для воздухонепроницаемости ткани. Паруса для острых

курсов, например, дрифтер и спинакер-генуя, надо даже покрывать особенно жестким слоем смолы для придания парусу хорошей формы при легкой массе.

Масса ткани при выборе материала — важный фактор. Хотя всегда желательна малая масса парусов, нецелесообразно применять слишком легкие паруса. Через несколько лет они неизбежно деформируются настолько, что потребуют замены.

В качестве приблизительных контрольных цифр плотности парусной ткани (в граммах на квадратный метр) можно принять следующие:

| Наибольшая длина яхты, м | 7—8 | 9—10 | 11—12 | 13—14 |
|---|---|---|---|---|
| Грот | 260 | 280 | 330 | 405 |
| Генуя № 1 | 160 | 200 | 200 | 230 |
| Генуя № 2 | 230 | 230 | 280 | 280 |
| Генуя № 3 | — | 280 | 280 | 340 |
| Стаксель № 1 | 280 | 280 | 340 | 405 |
| Штормовой стаксель | 180 | 340 | 340 | 405 |
| Ричер | 160 | 160 | 160 | 160 |
| Легкий спинакер | 35 | 35 | 35 | 35 |
| Нормальный спинакер | 52 | 52 | 52 | 52 |
| Звездный спинакер | 65 | 65 | 65 | 65 |
| Штормовой спинакер | — | 65 | 65 | 110 |

Эти данные по плотности относятся к ткани стандартного качества. Ткань высшего качества можно выбирать немного легче.

Раскрой паруса — большое искусство и часто является тайной парусного мастера. Многолетний опыт участия в парусных регатах — почти непременное условие для оптимального раскроя паруса, который должен создавать при минимальном крене максимальную движущую силу. Благодаря кривизне передней и нижней шкаторин в сочетании с закладками (сужению полотнищ к их концам) получается желаемая выпуклость паруса, необходимая для его эффективной работы на курсе бейдевинд. Спинакер выкраивают с помощью расчета сложных разверток. На острых курсах для парусов стремятся обеспечить аэродинамические благоприятные профили, полученные в результате испытаний в аэродинамической трубе. Можно ли таким путем заменить творческую работу парусного мастера классической школы — вопрос спорный.

Вариации в покрое парусов многообразны, поскольку по крайней мере для парусов гоночных яхт их профиль необходимо изменять в зависимости от направления и силы ветра. В последние годы применяют пузатые паруса, которые в слабый ветер тянут очень хорошо. Круто к ветру и при более высоких скоростях ветра этот профиль следует изменять. Одна или две молнии (застежки) на нижней шкаторине, устройства для натяжения передней и нижней шкаторин, а также возможность регулировки кривизны мачты путем натяжения ахтер-



оружения, а в проекте корпуса, то и этот аргумент в льзу двухмачтового судна был бы признан несостоятельным.

Серьезным аргументом в пользу обычного (классического) ча или йола можно считать возможность устойчиво идти под такселем и бизанью курсом бейдевинд при свежих и штормовых ветрах. Но поскольку это можно, хотя и труднее, осуществить на шлюпе под одним стакселем или гротом и поскольку временные подруливающие устройства позволяют устойчиво удерживать яхту на всех курсах, этот аргумент также потерял свою силу для яхтсменов.

*Оснастка крейсерско-гоночного шлюпа по правилам* IOR. По правилам обмера IOR обмеряют грот и передний парусный треугольник. Размеры переднего треугольника определяют допустимые размеры спинакера, а также передних парусов, предел длины нижней шкаторины которых составляет 150% основания переднего треугольника. В пределах трапеции, ограниченной палубой, штагом и параллельной ему линией на расстоянии *LPG*, есть место для большого числа передних парусов, рассчитанных на ветер различного направления и силы, имеющих различный покрой из разного материала. Поэтому многие гонки, проводимые по правилам IOR, стали вследствие этого соревнованиями «кошельков», за которыми средний яхтсмен может следить только издали. Кажется даже логичным, что владелец яхты, который заказывает парусному мастеру большое количество парусов, имеет моральное право на то, чтобы пользоваться его специальной опекой и получать паруса особенно высокого качества. Кроме того, ведущие парусные мастера, как правило, принадлежащие к мировой элите гонщиков, нередко сами же и управляют яхтами своих заказчиков в важнейших регатах.

Чтобы навести какой-то порядок среди бесконечно многих вариантов использования передних парусов по формуле IOR и дать заинтересованным яхтсменам деловую информацию, известный парусный мастер и яхтсмен Г. Байлкен предложил свою систему парусов. Она выдержала боевое крещение, когда яхты из ФРГ «Рубин», «Саудад» и «Карина-III», оснащенные парусами Байлкена, выиграли в 1973 г. гонки Адмиральского Кубка, т. е. практически чемпионат мира среди океанских гоночных яхт.

Системой Байлкена предусмотрены следующие передние паруса: *1* — дрифтер; *2* — генуя № 1 полная; *3* — генуя № 1 плоская; *4* — генуя № 2; *5* — генуя № 3; *6* — стаксель № 1; *7* — штормовой стаксель; *8* — ричер; *9* — толлбой; *10* — спинакер-генуя; *11* — бигбой; *12* — спинакер на слабый ветер; *13* — сферический спинакер; *14* — спинакер радиального (звездного) покроя; *15* — спинакер на сильный ветер; *16* — штормовой спинакер.

Характеристика этих парусов, применяемые материалы случаи применения рассмотрены далее на примере яхты «Картер-33» (рис. 170). Индексы на чертеже, проставленные на передних или задних шкаторинах, помогают ориентироваться этом многообразии парусов.

*D-дрифтер.* Это сверхлегкая генуя, рассчитанная на штилевой ветер. Кроят ее с полным профилем и максимальным пузом в середине ширины паруса. По передней шкаторине ликуют стальным тросом, так как ставят без штага.

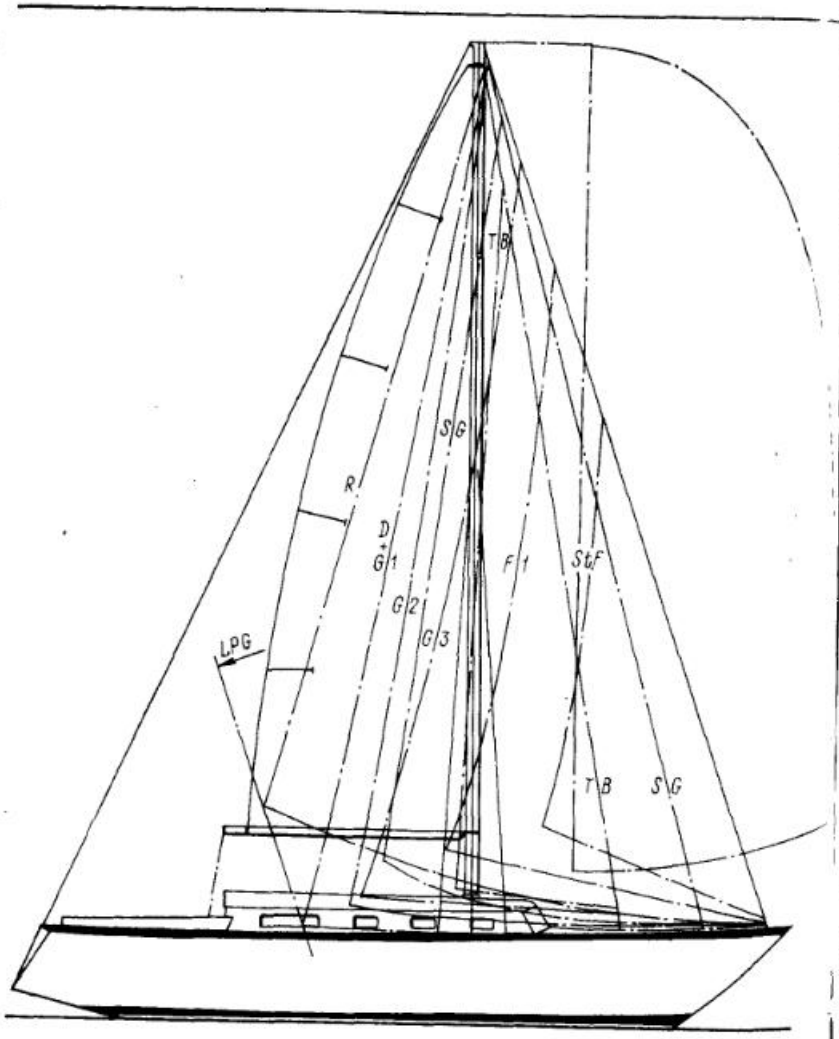



Рис. 170. Парусное вооружение яхты «Картер-33», спроектированное с учетом правил обмера IOR.



Материал: однослойный нейлон поверхностной плотностью г/м².

Применение: ветер 0—3 м/с (0—2 балла); курс — бейдевинд.

*G1 — генуя № 1 полная.* Рассчитанный на легкий ветер парус с полным профилем от фалового угла до нижней шкаторины; максимальное пузо расположено почти в середине. По передней шкаторине ставят эластичный ликтрос.

Материал: дакрон, пропитанный синтетической смолой поверхностной плотностью 130—160 г/м² для небольших яхт до полутонников); чистый дакрон поверхностной плотностью 190—220 г/м² для яхт больших размерений.

Применение: ветер 3—6,5 м/с (2—4 балла); курс — бейдевинд.

*G1 — генуя № 1 плоская.* Нормальный генуэзский стаксель, вверху — более плоский, в нижней части — с достаточным пузом, простирающимся вплоть до нижней шкаторины. Имеет эластичный ликтрос по передней шкаторине.

Материал: дакрон (со смолой) поверхностной плотностью 215—220 г/м² для небольших яхт (до полутонников); чистый дакрон поверхностной плотностью 220—340 г/м² для яхт больших размерений.

Применение: ветер 5—11 м/с (5—6 баллов), для остойчивых яхт до 6 баллов на курсе бейдевинд.

*G2 — генуя № 2.* Рассчитана на средний ветер, вверху плоская, внизу немного полнее; передняя шкаторина укорочена, задняя шкаторина более короткая, чем у генуи № 1, благодаря чему шкотовый угол расположен выше над палубой. По передней шкаторине имеет эластичный ликтрос.

Материал: чистый дакрон поверхностной плотностью 270—370 г/м².

Применение: ветер 10—14 м/с (5—6 баллов); курс — бейдевинд.

*G3* — генуя № 3. Рассчитана на сильный ветер, вверху плоская, внизу немного полнее, с укороченной передней шкаториной. Задняя шкаторина также укороченная и вогнутая, нижняя немного приподнята. По передней шкаторине ставят эластичный ликтрос.

Материал: чистый дакрон поверхностной плотностью 270—370 г/м².

Применение: ветер 13—18 м/с (6—8 баллов); курс — бейдевинд, при одном-двух рифах на гроте.

*F1 — стаксель № 1.* Передний парус на штормовую погоду (предписание иметь на борту яхты, участвующей в морских гонках) с поднятым шкотовым углом и вогнутой задней шкаториной. Покрой плоский. По передней шкаторине ставят стальной ликтрос.

Материал: чистый дакрон в узких полосах поверхностной плотностью 330 г/м² и более.

Применение: ветер 17—23 м/с (7—9 баллов); на всех курсах относительно ветра.

*St. F* — штормовой стаксель. Парус небольшой площади, который должны иметь все яхты вместе с триселем в случае участия в океанских гонках. Шкотовый угол сильно поднят, задняя шкаторина вогнутая. Покрой очень плоский. По передней шкаторине имеет стальной ликтрос.

Материал: чистый дакрон поверхностной плотностью 330 г/м² и больше.

Применение: ветер свыше 23 м/с (9 баллов и больше); на всех курсах.

*R — ричер.* Промежуточный парус между легкой генуей и спинакером, очень полно скроенный, с высоко поднятыми шкотовым углом и радиусным очертанием нижней шкаторины. По передней шкаторине имеет эластичный ликтрос.

Материал: дакрон, пропитанный синтетической смолой, поверхностной плотностью 160—250 г/м² или чистый дакрон поверхностной плотностью 190—220 г/м².

Применение: на курсах от полного бейдевинда до бакштага (под углом к ветру 45—120°) при скорости ветра до 13 м/с (6 баллов).

*TB — толлбой.* Крыловидный парус с латами; ставят вместе со спинакером. Галсовый угол крепят примерно на половине основания переднего парусного треугольника от мачты. Пузо средней величины.

Материал — чистый дакрон поверхностной плотностью 180—220 г/м².

Применение: при полных курсах от 60 до 180° к направлению ветра; при ветре 3—13 м/с (2—6 баллов).

*SG — спинакер-генуя.* Дополнительный передний парус, сшитый в виде спинакера, очень полно скроенный; крепят галсом вблизи путенса топштага.

Материал: однослойный нейлон поверхностной плотностью 65 г/м².

Применение: при курсе относительно направления ветра 55—180° и ветре 4—10 м/с (примерно 2—5 баллов).

*Бигбой (подветренный спинакер).* Дополнительный спинакер, имеющий размеры в пределах, допустимых для генуэзского стакселя. Галсовый угол крепят на самом форштевне, фаловый угол свободный. Очень пузатый парус (рис. 171).

Материал: нейлон плотностью 65 г/м².

Применение: при полном бакштаге до фордевинда (направление ветра 160—180°) и скорости ветра 0—13 м/с (до 6 баллов); ставят вместе со спинакером и гротом. При ветре 7 м/с (примерно 4 балла) — с рифами на гроте, при ветре 2—3 м/с (около 2 баллов) — без грота.

*Спинакер на слабый ветер.* Имеет максимальные размеры, кроится по профилю средней полноты с горизонтальными по-



лотнищами, в верхней части делается диаметральный (средний) шов.

Материал: нейлон поверхностной плотностью 30 г/м².

Применение: на полных курсах до 60° относительно вымпельного ветра; при ветре максимум 8 м/с (4 балла).

Рис. 171. Бигбой, называемый также подветренным спинакером, является собственно генуей. Благодаря очень полному раскрою и проводке фала парус приобретает характер спинакера.

*Сферический (радиальный) спинакер.* Выполняют мак мальных размеров, но в большинстве случаев плоского покр с лучевидными полотнищами в верхней трети, на остальной п щади — с горизонтально расположенными полотнищами.

Материал: нейлон поверхностной плотностью 50—65 г/м².

Применение: на курсах яхты относительно ветра 60—8 при скорости ветра 4—12 м/с (3—6 баллов).

*Спинакер звездного покроя.* Выполняется с размерами пр мерно 12% от максимально допустимых по правилам обмера очень плоскими полотнищами, которые расходятся лучам от трех углов к середине.

Материал: нейлон поверхностной плотностью 65—110 г/м

Применение: при курсах относительно ветра до 45°; ветр 2—3 м/с (2 балла). При ветре до 13 м/с (6 баллов) испол зуется парус, высота которого больше высоты всех др гих спинакеров.

*Спинакер на сильный ветер.* По профилю это такой же п кий спинакер, как и звездный, с той лишь разницей, наверху имеются лучевидные полотнища, а в середине и же — горизонтально расположенные.

Материал: нейлон поверхностной плотностью 65—110 г

Применение: на курсах относительно ветра до 55°; при рости ветра 5—13 м/с (3—6 баллов).

*Штормовой спинакер.* Выполняется с профилем как мо более плоским, его площадь составляет примерно 25% от м симально допустимого размера. Полотнища могут быть ра ложены радиально, звездой или горизонтально.

Материал: нейлон поверхностной плотностью 110 г/м².

Применение: при ветре 12 м/с и выше в зависимости от опыта рулевого.

По мнению Байлкена, такой набор передних парусов должен быть на яхте, если ее капитан хочет добиться успеха в гонках. Пока в основных регатах, проводимых по формуле IOR, нет ограничений в количестве парусов и это представляется вполне логичным. Чтобы помочь непрофессионалам правильно использовать вышеописанную систему парусов, Байлкен снабжает своих заказчиков брошюрой с подробной информацией. Здесь приведены два графика из этой брошюры для двух диапазонов скорости ветра (рис. 172).

*Вооружение туристской яхты.* Еще несколько лет тому назад сомневались в том, нужно ли вооружать яхту средних размеров шлюпом, кэчем или иолом. В настоящее время шлюп признан оптимальным типом вооружения для туристской яхты. Это признание является в некоторой степени следствием того, что все большее число яхт, вооруженных шлюпом, совершают кругосветные плавания и все больше яхтсменов-одиночек пересекают океаны именно на шлюпе. Это также свидетельствует о том, что материалы и оснащение стали более



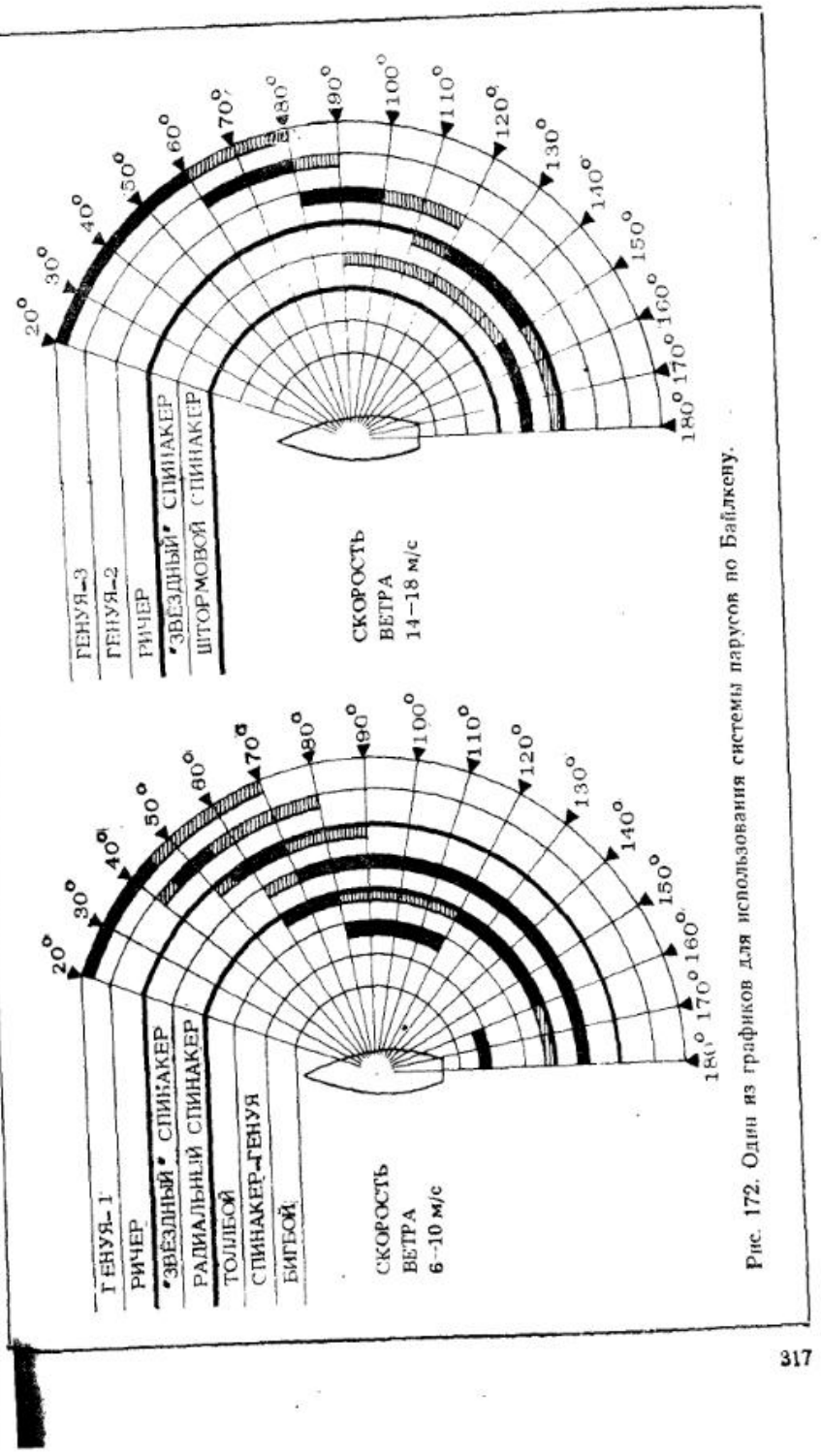



Рис. 172. Один из графиков для использования системы парусов по Байлкену.

надежными, а вспомогательные приборы и устройства, облегчающие работу с парусами,— более доступными.

Решающую роль в этом сыграло намного повысившееся качество парусов. Большая разница, убирать или рифить паруса из хлопчатобумажной ткани или закручивать вокруг гика или штага значительно более легкий и при этом очень прочный парус из синтетического материала.

Яхтсмен-турист, обычно путешествующий с экипажем из членов своей семьи, нуждается в упрощении таких сложных операций, какими являются смена парусов или взятие рифов. При этом желательно, чтобы яхта по возможности имела высокую скорость. В последние годы появились также яхты, вызванные к жизни какой-то волной ностальгии по старине. Возродились бушприт и даже раздельные передние паруса. Большое количество парусов сочетается со значительно худшими тяговыми характеристиками и низкой скоростью яхты. Появились даже трехмачтовые суда с таким невозможно малым соотношением длины передних и нижних шкаторин парусов, что потребовалась забота об обеспечении остойчивости яхт.

В противоположность дорогому и сложному вооружению по правилам IOR здесь можно использовать благоприятные факторы, способствующие повышению скорости судна и устранению сложности в обслуживании. Низкое соотношение высоты и ширины парусов и автоматический стаксель без рейка являются при этом основными факторами. При одинаковой площади парусности яхта с парусами, у которых длина по передней шкаторине не более чем в два раза превышает длину нижней шкаторины, оказывается более быстроходной. Исключением при этом является лавировка, но для туриста это не имеет существенного значения.

Для размещения высокоэффективного автоматического стакселя необходимо располагать мачту почти на миделе судна (см. рис. 173). В этом случае появляется возможность раскрепить мачту широко разнесенными (по длине яхты) вантами. Это существенно уменьшает нагрузки, действующие на мачту и ванты, и позволяет использовать более легкие профили для мачт, уменьшать диаметр вант без ущерба для запаса прочности. От этого в свою очередь зависит остойчивость яхты и характер ее качки.

Спинакер с дополняющими его парусами для большинства яхтсменов-туристов не нужен как вследствие малочисленности экипажа, так и вследствие сравнительно высокой стоимости парусов. Для попутных курсов можно применять упрощенный вариант паруса, на котором можно идти в слабый ветер также курсом полный бейдевинд. Оптимальной является комбинация ричера с дрифтером, который можно ставить без штага. При ветре силой до шести баллов на форштаге можно поставить универсальный стаксель, а на попутных курсах использовать



его как парус, дополняющий ричер-дрифтер. Менять этот стаксель на штормовой нужно только при усилении ветра (более 6 баллов). Размеры универсального стакселя обычно представляют нечто среднее между размерами нормального штормового стакселя и обычного стакселя, рассчитанного на сильный ветер.

Если яхтой длиною до 15 м должны управлять два человека, грот лучше снабдить гиком с патент-рифом. Один человек в кокпите может убирать паруса, а другой рифить грот на курсе бейдевинд. На парусе должны быть нашиты два дополнительных риф-банта для обеспечения правильного профиля грота по всей длине рифов.

Таким образом, высокоэффективное и экономичное вооружение туристской яхты включает только четыре паруса. После

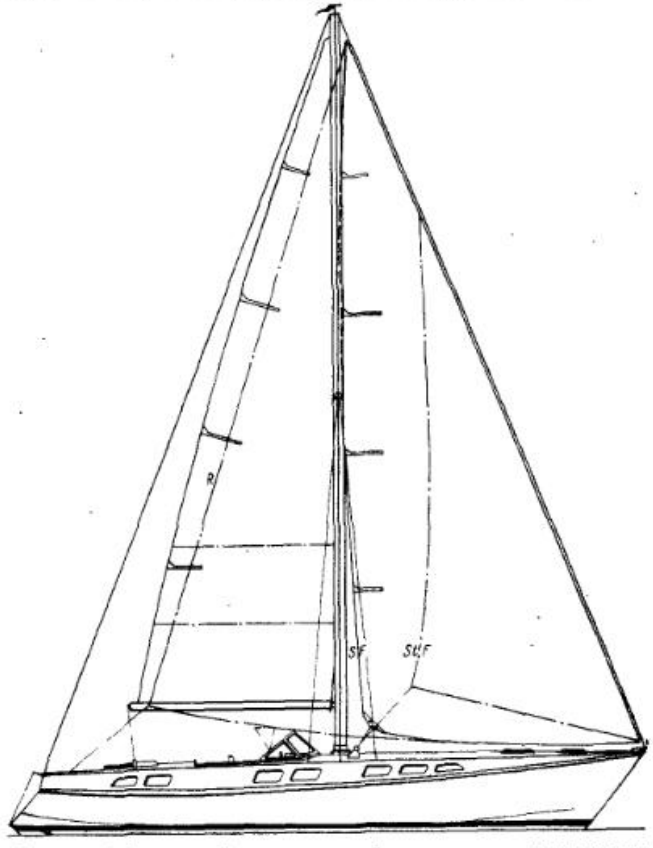



Рис. 173. Высокоэффективный экономичный вариант вооружения туристской яхты «Гидра». Три стакселя и грот удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к быстроходной и легкой в обслуживании туристской яхте. Универсальный St F-стаксель несут при силе ветра до 6 баллов; рифтер R заменяет генуэ на легкий ветер и вместе со стакселем SF спинакер.

успешных испытаний автор использовал это вооружение во многих случаях для оснащения ряда современных типовых проектов морских яхт. Иногда яхтсмены вполне довольствовались одним универсальным стакселем. Вариант такого вооружения показан на чертеже парусности яхты «Гидра» (рис. 173).

Паруса, относящиеся к этому вооружению, описаны ниже:

*SF — автоматический стаксель без рейка.* Это полный в средней части парус, который может быть натянут очень плоско благодаря эластичной передней шкаторине. Латы на задней шкаторине обеспечивают правильное положение паруса в сильный ветер. Булинь в задней и нижней шкаторинах вместе со свободной передней шкаториной позволяет превращать этот парус в очень пузатый на попутных курсах.

Материал: дакрон, пропитанный смолой, поверхностной плотностью 250—310 г/м² для яхт длиной до 10 м или чистый дакрон поверхностной плотностью 270—370 г/м² для яхт длиной до 15 м.

Применение: при ветре 3—12 м/с (2—6 баллов) — на курсе бейдевинд; при ветре 5—15 м/с (3—7 баллов) — в галфвинд и фордевинд; начиная с 9 м/с (5 баллов) — с рифами на гроте.

*R — рифтер (комбинация из ричера и дрифтера).* По сравнению с нормальным ричером, который по своему очень полному профилю находится между легкой генуей и звездным спинакером, рифтер является одновременно подобием дрифтера для крутых к ветру курсов при силе ветра около 3 баллов. Эластичная передняя шкаторина скользит по ликтросу, на котором свободно (без штага) ставится рифтер (рис. 174). В бейдевинд передняя шкаторина с помощью троса, проходящего внутри паруса, натягивается, так что образуется достаточно полный профиль в середине паруса. При боковом ветре передняя шкаторина благодаря потравливанию троса расслабляется, а на полных курсах становится совсем свободной. При этом образуется подобие очень плоского спинакера. Относительно узкий грот в подветренном положении не закрывает рифтер при боковом ветре (на курсе галфвинд). Легкая подветренная краспица из алюминиевой трубки, имеющая резиновый шкив на верхней ванте, обеспечивает устойчивое положение развернутого паруса при ветре до 2 баллов. При этом не нужно никакой дополнительной оснастки, как у спинакера. Вместе с рифтером может быть поставлен плоский стаксель для попутных ветров.

Материал: дакрон, пропитанный смолой, поверхностной плотностью 130—160 г/м² (для яхт длиной до 10 м); чистый дакрон поверхностной плотностью 190—220 г/м² для яхт длиной до 15 м.

Применение: при ветре до 5 м/с (0—3 балла), на всех курсах приблизительно до 30° к ветру; при ветре 4—7 м/с (3—



балла) — на всех курсах примерно до 40° к ветру. На лавировке вследствие большого перекроя мачты нести рифтер не имеет смысла. Лавируют на стакселе или при необходимости на штормовом стакселе.

*St.F — штормовой стаксель.* Размеры этого стакселя представляют компромисс между стакселем № 1 и штормовым

Рис. 174. Нормальный ричер на яхте «Элиза». В отличие от рифтера ставится без штага и имеет больше возможности для настройки благодаря эластичной передней шкаторине.

стакселем по правилам IOR. Парус имеет поднятый вверх шкотовый угол, вогнутую заднюю шкаторину и очень плоский профиль. По передней шкаторине ставят стальной ликтрос. Шкоты проводят на рельс стакселя.

Материал: дакрон, пропитанный смолой, поверхностной плотностью 270—330 г/м² (для яхт длиной до 8 м), чистый дакрон поверхностной плотностью 270—330 г/м² для яхт длиной до 15 м.

Применение: при ветре более 13 м/с (6 баллов) на всех курсах (на гроте два рифа); при ветре более 18 м/с (8 баллов) — без грота.

*Грот с нормальным полным профилем* в средней части, с эластичной передней шкаториной, снабженной ползунками, и с патент-рифом. Дополнительно делают два ряда люверсов для обычных рифов.

Материал: дакрон, пропитанный смолой, поверхностной плотностью 220—310 г/м² для яхт до 8 м длиной, чистый дакрон поверхностной плотностью 270—370 г/м² для яхт применно 15 м длиной.

Применение: при ветре 9 м/с (5 баллов) без рифов, начиная с 9 м/с — один ряд рифов, с 12 м/с (6 баллов) — два ряда рифов, при 18—19 м/с (8 баллов) грот убирают и яхта идет только под штормовым стакселем.

Все рассмотренные случаи применения парусов являются только контрольными. Остойчивость яхты и поведение ее в море, а также умение и выносливость экипажа и рулевого являются важными факторами, благодаря которым указанные диапазоны использования отдельных парусов могут сместиться в ту или иную сторону.

## 7.11. ОБОРУДОВАНИЕ И ПЛАНИРОВКА ПАЛУБЫ

От расположения шкотовых и фаловых лебедок, направляющих рельсов, блоков и стопоров зависят секунды, которые всегда желают отыграть у своих соперников экипажи крейсерско-гоночных яхт. Однако в редком случае представления конструктора об эффективном в гонках палубном оборудовании совпадают с требованиями будущего экипажа яхты. На успех может рассчитывать только тот конструктор, который сам неоднократно принимает участие в гонках. Неудивительно поэтому, что очень часто расположение палубного оборудования определяет владелец судна.

При разработке планировки палубы крейсерско-гоночной яхты важно местоположение кокпита, поскольку начиная с длины яхты 13—14 м стало обычным требованием иметь два или даже несколько кокпитов. На гоночных яхтах целесообразно устраивать отдельный кормовой кокпит для рулевого, откуда он имеет хороший обзор навигационных приборов. Кроме того, благодаря открытому люку рулевой может осуществлять постоянную связь со штурманом, который обычно находится в рубке. В поле зрения рулевого в этом случае находится весь экипаж, что почти невозможно на яхте с одним кокпитом, хотя здесь люди не загораживают приборов и не мешают связи рулевого и штурмана.

Только на самых малых яхтах целесообразно сосредоточивать весь экипаж и устройства для управления парусами в одном кокпите. Так как румпель имеет определенную длину, то рулевой располагается в таком кокпите примерно посредине его длины; расстояние до приборов и входного люка невелико.

При полных курсах рулевой обычно находится на подветренной стороне кокпита, оставляя полную длину кокпита с наветренной стороны свободной для размещения экипажа. В бейдевинд каждый не занятый управлением парусами член экипажа, как правило, сидит с наветренного борта на палубе вблизи миделя яхты, свесив ноги за борт для эффективного откренивания судна. Кокпит остается свободным для действий штурмана, который может брать пеленги как с наветренной, так и с подветренной сторон. Для облегчения решения поставленных перед ним задач компас и указатель вымпельного ветра могут быть установлены на обоих бортах — довольно часто встречающийся вариант оборудования палубы на гоночных яхтах.

Если яхта имеет один кокпит и штурвальное управление, то лучше всего располагать штурвал в передней части кокпита. Весь экипаж находится за спиной рулевого.

В качестве примера экстремального варианта планировки палубы крейсерско-гоночной яхты можно привести 13-метровую яхту «Карина-III». Здесь имеется кормовой кокпит для рулевого, оборудованный двумя штурвалами: на правом и левом бортах (рис. 175). Два кокпита для экипажа, расположенные впереди кокпита рулевого, оборудованы в общей сложности пятнадцатью лебедками для фалов и шкотов. Некоторые из них связаны между собой приводами для увеличения усилия тяги. Цена этих лебедок составляет не менее 7% стоимости яхты. Дополнительными затратами для владельца являются индикаторы вымпельного ветра, установленные в трех местах (в кокпитах рулевого и команды, а также в штурманской рубке), и гидравлический талреп ахтерштага. Эти затраты, однако, окупаются, если учесть, что «Карина-III» входила в состав сборной команды ФРГ — победительницы Адмиральского Кубка 1973 г. Правда, вопрос о том, какую роль в этой победе сыграла планировка палубы и ее оборудование, до сих пор остается спорным.

Планировка палубы яхты, основным назначением которой являются туристские плавания в открытом океане, зависит в

основном от типа вооружения и состава экипажа. Среди вл
дельцев таких яхт, как правило, не принимающих участия в
гонках, есть немало яхтсменов, для которых главное — тре и
ровать морской экипаж. В этих случаях простота и рациона ь-
ное обслуживание парусов часто даже нежелательны, так к к
основной целью плавания являются хорошие физические на-
грузки для экипажа. Общую площадь парусности часто раз е-
ляют на несколько отдельных парусов, мачты оборудуют бак ц-
тагами, устанавливают бушприт. Такие суда, принадлежащие
яхтсменам, которые витают в облаках старой морской роман ти-

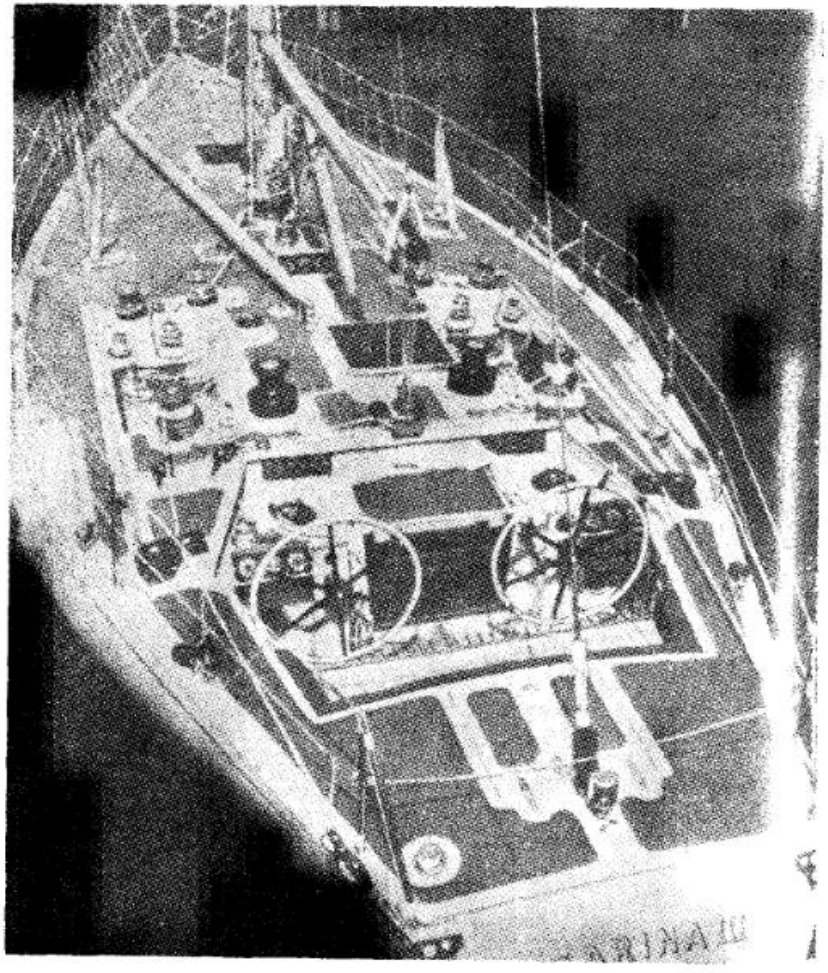


Рис. 175. Палуба яхты «Карина-III» длиной 13,4 м.



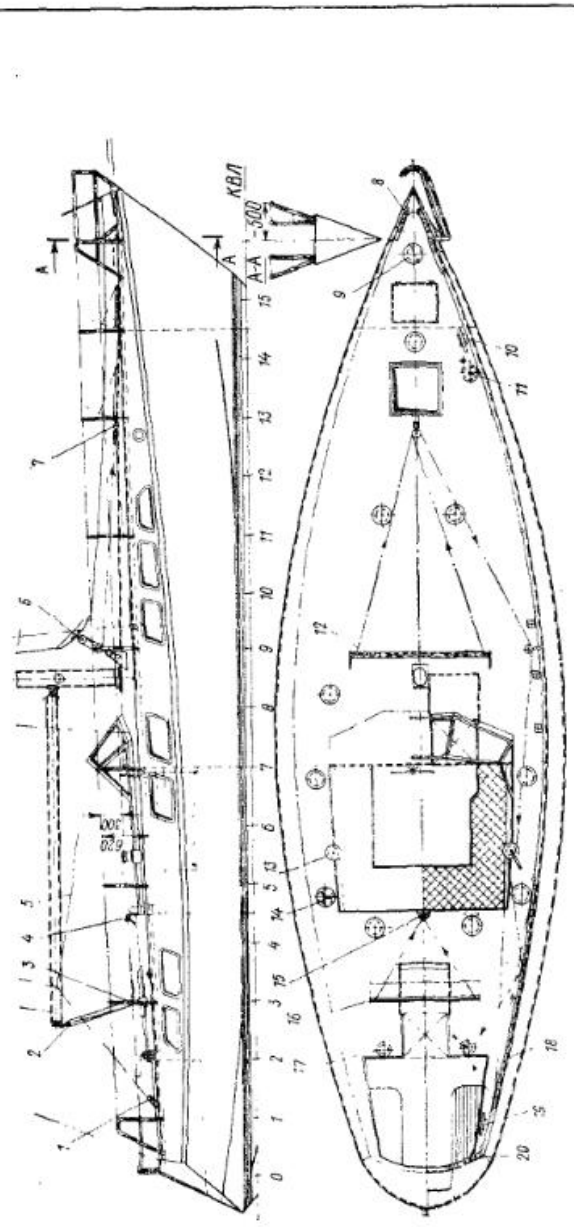


Рис. 176. Планировка палубы яхты «Гидра».
*1* — два блока с вертлюгами для шкотов дополнительных парусов; *2* — двухшкивный блок; *3* — трехшкивный блок; *4* — шкотовый стопор; *5* — ричер; *6* — шкот «автоматического» стакселя; *7* — обушок с блоком для стакселя-шкота; *8* — открытый клюз; *9* — вентиляционная головка; *10* — утка длиной 330 мм; *11* — якорный шпиль; *12* — шток стакселя-шкота; *13* — шкотовая лебедка; *14* — электровентилятор из машинного отсека; *15* — зажим гика-шкота; *16* — погон гика-шкота; *17* — шкотовая лебедка; *18* — рельс 30×6 для блока шкота ричера; *19* — утка длиной 320 мм; *20* — киповая планка.

ки, являются полной противоположностью крейсерско-гоночным яхтам, участвующим в соревнованиях по правилам IOR.

Другой вариант оснастки и оборудования палубы — для яхт, предназначенных для плавания с семейным экипажем, т. е. при ограниченном количестве рук на борту, способных управлять парусами. В этом случае яхту оборудуют минимальным числом фаловых и шкотовых лебедок, стоимость которых не превышает 1% общей стоимости постройки яхты. В качестве примера можно предложить чертеж планировки палубы 14-метровой стальной яхты «Гидра» (рис. 176). Здесь предусмотрен кормовой кокпит, который, однако, не несет прямых функций по управлению парусами. Он служит как бы балконом для обитателей кормовой, изолированной от остальных помещений, каюты (ее обычно занимает владелец яхты). У переднего обреза кокпита установлена пара шкотовых лебедок, которые используются для шкотов генуэзского стакселя или бегучего такелажа спинакера. Один или два человека, несущие вахту в кормовом кокпите, позволяют полностью разгрузить носовой кокпит для рулевого — владельца яхты и его гостей. Такой вариант отнюдь не исключает успешного участия яхты в океанских и морских соревнованиях.

Между двумя рассмотренными примерами планировки палубы яхт имеется множество других вариантов. Определяющими факторами в их выборе являются расходы на оборудование судна, которые запланировал нести его будущий владелец, а также назначение яхты — характер ее преимущественного использования.

# ГЛАВА 8. УСТАНОВКА ДВИГАТЕЛЯ НА ФУНДАМЕНТ

Монтировать двигатели на жестких опорах, как это иногда можно видеть на гоночных катерах или рабочих шлюпках, сегодня уже не принято. Жесткая установка двигателя хотя и дешевле, чем эластичная, на амортизаторах, но она может даже уменьшить прочность корпуса, если учесть современную тенденцию строить корпуса яхт как можно более легкими. Благодаря эластичному креплению двигателя и валопровода снижается уровень шума и вибрации, передаваемой на корпус. Увеличение расходов на установку двигателя на амортизаторах по отношению к стоимости двигателя незначительное, а центровка линии вала, которую следует проводить так же тщательно, как и при жестком креплении двигателя на фундаменте, ненамного труднее.



Амортизаторы бывают различных конструкций. Для яхтенных двигателей подходят только такие, которые способны воспринимать нагрузку от упора гребного винта. Кроме того, амортизаторы должны удерживать двигатель на фундаменте в шторм, когда при качке и большом крене яхты появляются инерционные силы, во много раз превышающие усилия, действующие на амортизаторы при нормальной работе. К этому добавляется и то, что силы инерции при качке изменяют свое направление действия. Амортизатор, испытывавший до этого только давление, должен воспринимать разрывные нагрузки. При монтаже двигателей с большой массой на фундаменте ставят дополнительную скобу — ограничитель. Скоба ограничивает ход пружины вверх, оставляя достаточно свободы для нормальных колебаний амортизатора и действуя только в тех случаях, когда двигатель стремится сорваться с фундамента при сложных условиях эксплуатации.

Крен яхты 90° является крайним случаем, который должен, однако, учитываться (рис. 177). Даже если яхта после этого сразу встанет на ровный киль, эта ситуация тем не менее может оказаться роковой, если двигатель сорвется с фундамента. Если предположить, что судно падает в подошву волны высотой 3 м, то оно может погрузиться еще на 1 м, прежде чем его поднимет вновь новая волна. Двигатель массой 500 кг при таком падении получает кинетическую энергию $500 \cdot 3 = 1500$ кг·м, которая гасится на отрезке длиной 1 м, соответствующем погружению корпуса. Следовательно, в центре тяжести двигателя при этом действует сила 1500 кгс,— в три раза больше, чем его сила веса в состоянии покоя. Она возрастает в 6 раз, если погружение яхты совпадает с подъемом следующей волны так, что расход кинетической энергии происходит на участке 0,5 м. В результате повышается вероятность того, что амортизаторы не выдержат такой нагрузки. А что означает

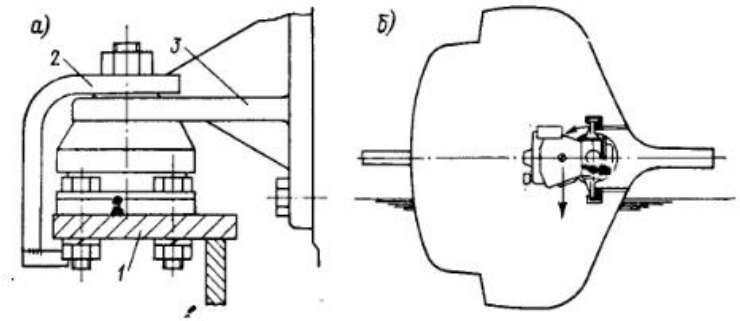



Рис. 177. Ограничитель амортизатора (*а*) и схема для расчета прочности крепления двигателя к фундаменту (*б*).
*1* — опорная плита фундамента; *2* — ограничитель; *3* — лапа двигателя.

сорванный с фундамента двигатель, нетрудно себе представить. Следовательно, надежное крепление фундамента — нелишняя предосторожность.

## 8.1. ЦЕНТРОВКА

Точная центровка двигателя и валопровода яхты требуется в тех случаях, когда между гребным валом и двигателем нет эластичного соединительного элемента. Таким элементом может быть, например, карданный вал или гидравлическая муфта. Эластичные муфты к таковым элементам не относятся, так как при плохой центровке они передают напряжения изгиба на вал, которые хотя и небольшие, но при каждом обороте вала в его наружных волокнах дважды меняют знак. Вал разрушается не сразу, а от усталости при колебаниях, которые могут принять недопустимые формы, особенно в случае неблагоприятной установки гребного винта. Соединен ли вал на фланцах или применено другое соединение, стоит ли двигатель на амортизаторах или укреплен жестко, работы по центровке двигателя и гребного вала в любом случае следует проводить с большой тщательностью.

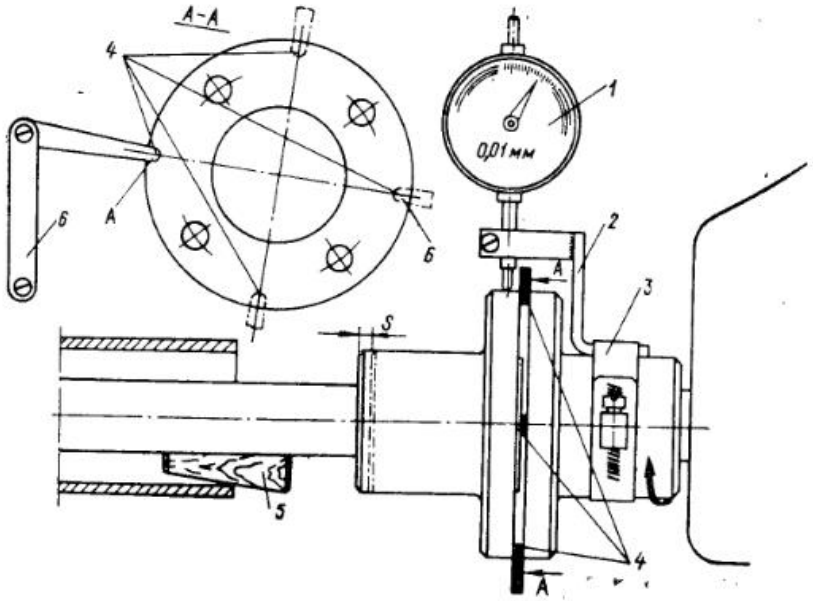



Рис. 178. Схема установки индикатора для контроля смещения линии вала и использования щупа для замера излома.

*1* — индикатор; *2* — держатель индикатора; *3* — зажим; *4* — точки контроля зазора между фланцами муфты и их несоосности; *5* — клин для центровки гребного вала в дейдвудной трубе; *6* — щуп.



На рис. 178 показан двигатель, закрепленный в рабочем положении на фундаменте, с линией вала, подготовленной для центровки. Дейдвудный сальник демонтирован и гребной вал со стороны двигателя не имеет никакой опоры.

Вал с фланцевым соединением подтягивают к выходному фланцу двигателя настолько, чтобы они не касались друг друга. Затем центруют вал по отношению к дейдвудной трубе с помощью трех клиньев или других вспомогательных средств. Важно, чтобы вал после центровки удерживался в своем центральном и осевом положении, причем для последующего контроля должен оставаться свободным доступ к мерительным маркам (точкам). С помощью зажима укрепляют на фланце двигателя держатель для индикатора, щуп которого отрегулирован на фланец гребного вала. При проворачивании вала снимают самое большое и самое минимальное отклонения стрелки индикатора. Среднее значение из этих двух отсчетов показывает смещение линии вала относительно оси вала двигателя. Измерения нужно делать в вертикальной и горизонтальной плоскостях. По величине отклонения стрелки индикатора можно уточнить направление, в котором надо подвинуть двигатель на фундаменте.

Затем измеряют излом линии вала: угол между осью двигателя и осью гребного вала. Это делают с помощью щупа, помещаемого в зазор между фланцами сначала только по горизонтальным точкам замера, так как выравнивание надо производить только в этой плоскости. Если в точке *Б* зазор больше, чем в точке *А*, то двигатель надо переместить вправо по возможности вокруг оси, которая лежит на передней кромке фланца. После любого изменения положения двигателя необходимо вновь проверить центровку по фланцам, прежде чем продолжать дальнейшую работу.

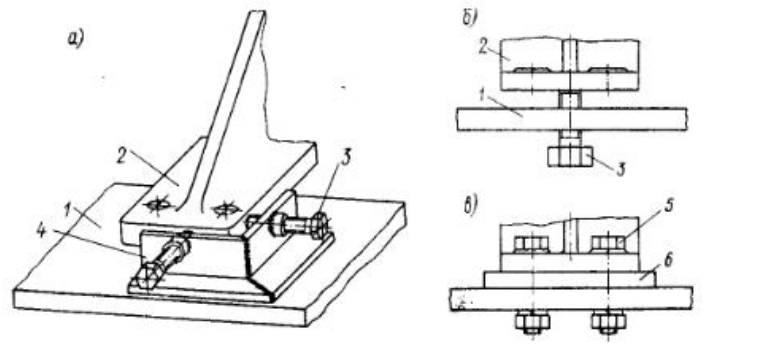



Рис. 179. Приспособление для перемещения двигателя при центровке: *а* — по горизонтали; *б* — по вертикали; *в* — постановка прокладок.

*1* — опорная плита фундамента; *2* — лапа двигателя; *3* — отжимной болт; *4* — упорное приспособление, приваренное к плите; *5* — фундаментный болт; *6* — прокладка.

В вертикальной плоскости излом замеряют точно так же и двигатель постепенно приводят в требуемое положение (идеального совпадения осей двигателя и гребного вала достичь практически невозможно).

Гребной вал имеет резинометаллический подшипник, зазор равен примерно 0,2 мм. Это значит, что вал в спокойном состоянии смещен на 0,1 мм вниз из центра и при центровке его надо сместить на середину. Масса яхтенных валов с фланцевыми муфтами относительно мала, так что в резиновых подшипниках гребного вала не появляется деформации, которую надо было бы учитывать.

Со стороны винта вал не центруют, так как перемещение его слишком незначительно, чтобы повлиять на положение фланца.

Вспомогательными устройствами при центровке являются отжимные болты на фундаменте, с помощью которых можно без затраты сил точно установить двигатель в нужное положение (рис. 179, *а*).

## 8.2. ПРОКЛАДКИ

На стальных или алюминиевых яхтах опорные плиты фундамента под двигатель являются сварными конструкциями. В зависимости от размеров яхты их ставят на 10—30 мм ниже, чем плоскость опоры двигателя или плоскость амортизаторов. Промежуточное пространство заполняют прокладками с целью устранения неточностей изготовления фундамента, обусловленных технологией, и создания ровной опоры для всех амортизаторов и лап двигателя. Двигатель выравнивают по высоте посредством отжимных болтов (рис. 177, *б*). Затем измеряют на всех четырех углах зазор между лапами двигателя и опорной плитой фундамента и по этим размерам фрезеруют прокладки нужной толщины (рис. 179, *в*). После установки прокладок двигатель можно выравнивать в горизонтальной плоскости.

При установке на амортизаторах выравнивание двигателя по высоте становится затруднительным, если не предусмотрена возможность регулировки высоты амортизаторов. В этом случае необходимо учесть высоту амортизаторов под нагрузкой. Двигатель выравнивают на фундаменте без амортизаторов и толщину прокладки определяют как разность между высотой от опорной плиты фундамента до лапы двигателя и размерами амортизатора под нагрузкой. Амортизаторы одного типа при одинаковой нагрузке должны иметь одинаковые деформацию и силу реакции при данной деформации. Когда два противолежащих амортизатора имеют разные размеры, это значит, что опорная плоскость фундамента была неровной. Если этого не учитывать, может случиться, что основная масса двигателя будет покоиться на двух амортизаторах, установленных по диагонали друг напротив друга. К шести степеням свободы, которые так или иначе уже есть у двигателя, поставленного на амортизаторах (три степени вращения и три степени линейного перемещения), добавилась бы еще седьмая, а именно вращательное колебание вокруг оси, проходящей под углом к оси двигателя. Можно себе представить, какие колебания могут возникать вследствие этого. Некоторые амортизаторы могут удерживаться в том положении (деформированном), которое они приобретут после монтажа двигателя. Благодаря этому осуществить центровку вала сравнительно просто.

Сказанное относится к таким амортизаторам, у которых с помощью анкерного болта можно регулировать высоту начальной установки. Однако не стоит пытаться сравнивать деформацию передних и задних амортизаторов, поскольку они могут быть по-разному нагружены.

В крупном судостроении уже давно применяют заливку прокладок эпоксидной смолой. После центровки двигателя и валопровода пространство, которое должно занимать прокладка, уплотняют по периметру с помощью стальной полосы или другим способом. Для заполнения его мастикой оставляют зазор около 20 мм. Болты крепления к фундаменту, касающиеся поверхности двигателя и фундамента, покрывают разделительным средством и ставят на свое место через соответствующие отверстия. Затем в образовавшуюся ванночку заливают жидкую смолу и после ее отверждения (24 ч при 16 °С) образуется прокладка. Прочность прокладки на сжатие составляет 1200 кгс/см². Прокладка позволяет выбрать самые незначительные неточности. Болты можно в любое время демонтировать благодаря разделительному средству. Но часто болты на место не ставят, а отверстия в лапе под них заливают. Сверление затем затвердевшей смолы не представляет трудностей.

На рис. 180 показана заливка прокладки на наклонном фундаменте. Двигатель выровнен и опорные плиты амортизаторов уплотнены с помощью стальной полосы, которую временно прихватывают электросваркой в нескольких местах и удерживают ее струбцинами. Стыки обклеивают изоляционной лентой. Если верхняя плита фундамента уже просверлена, эти отверстия и отверстия в опорной плите амортизаторов закрывают пробками. В то время как в одно из отверстий (см. стрелку)

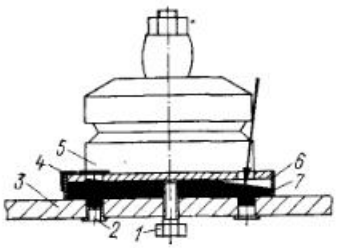



Рис. 180. Прокладка из быстротвердеющей пластмассы.
*1* — отжимной болт; *2* — пробка; *3* — опорная плита фундамента; *4* — изоляционная лента; *5* — амортизатор; *6* — стальная полоса; *7* — пластмасса.

заливают смолу, из другого, находящегося на той же высоте выходит воздух. Чтобы заполнилось пространство под плитой от нижней кромки отверстия, металлическая полоса не должна иметь вверху никакого уплотнения, чтобы воздух мог выходить свободно. Конечно, надо быть уверенным в том, что во время отверждения смолы не может произойти никакого изменения положения двигателя.

# ГЛАВА 9. СИСТЕМЫ ЯХТЫ

## 9.1. ФАНОВАЯ СИСТЕМА

В процессе борьбы с загрязнением окружающей среды судоходство в общем и спортивные плавания в частности не должны оставаться в стороне от выполнения обязательств и законов, направленных против сбрасывания отработанных вод в гаванях и вблизи берега. В гаванях, предназначенных для специализированного судоходства, уже давно есть подобного рода ограничения. Каждое судно, прибывающее в такую гавань, может разгрузить бункер с грязной водой в особую цистерну или баржу, разумеется, за соответствующую плату. Из-за последнего обстоятельства не каждое судно пользуется этими устройствами и, кроме того, время стоянки в гавани обычно короткое. Таким образом, фекалии часто выбрасывают в море вне трехмильной зоны.

Для спортивных судов подобные устройства не предусмотрены. В яхт-клубах имеются соответствующие санитарные устройства, но очень редко обеспечивается возможность разгрузки сточной цистерны, если такая есть на борту яхты.

Требование иметь сточную цистерну на каждой яхте и простое, и в то же время трудновыполнимое. На крейсерских швертботах, малых килевых яхтах и катерах часто нельзя даже установить помпу для гальюна, а именно они составляют большую часть спортивных судов и плавают преимущественно во внутренних водах или вблизи побережья. Известные до сих пор технические решения не могут удовлетворить требованию положить конец загрязнению вод. Химические вещества, на которые разлагаются фекалии, специалисты считают нежелательными в прибрежных водах, так как они, якобы, вреднее, чем необработанные продукты обмена веществ.

Гальюны на яхтах, оборудованные сточными цистернами, которые время от времени можно разгрузить на суше, могут оказать хорошую службу, если гавани и яхт-клубы будут оборудованы соответствующими устройствами для забора сточных



вод и если для сооружения этих устройств есть экономический стимул. Самое удачное решение проблемы состоит в полном превращении фекалий и камбузных отходов в золу при минимальном потреблении воды, которую после соответствующей обработки можно спускать за борт. Подобные устройства работают на вакуумном принципе: в собирательном баке посредством вакуумного насоса создают разряжение около 0,05 МПа и поддерживают его. Гальюны соединены с этим баком через трубопровод с внутренним диаметром 50 мм, снабженный специальным клапаном. Место установки гальюна выбирают в соответствии с общим проектом оборудования, причем не надо обращать внимание на уклон, расположение гальюна относительно ватерлинии и изгиб фановых труб. Полная установка, если соединены несколько гальюнов, ванн, душей и моек, имеет только одно наружное отверстие на случай, если сточную цистерну надо будет откачать в море.

Для яхт с большой цистерной, например при плавании по Балтийскому морю, такой вопрос не стоит даже рассматривать, так как эти цистерны обязательно должны разгружаться на берегу. Подобные устройства, к сожалению, разработаны только для специализированных судов, их установка экономически приемлема там, где есть необходимый источник энергии и где такие устройства не занимают значительной площади. Законодательство, вероятно, опирается на международный стандарт, который обязателен для всех судов, пользующихся национальными водами.

В настоящее время имеется большое разнообразие фановых систем для яхт, которые в основных чертах спроектированы по одному принципу действия. Необходимо, чтобы фекалии быстро удалялись с яхты и через фановую систему не проникала забортная вода. Независимо от длины яхты по ватерлинии (8 или 40 м) гальюны приходится устанавливать, как правило, ниже ватерлинии. Удаление содержимого гальюнов в этих условиях представляет известные трудности. В фановой системе на яхте выпускной клапан (называемый также обратным клапаном) является поэтому основной деталью.

Ручная или электрическая помпа имеет двойную функцию: уделяет содержимое гальюна и накачивает воду для промывки унитаза. Необходимо предусматривать меры, предотвращающие засорение выпускного клапана, которые состоят в том, что выходной трубопровод сначала поднимают вверх минимум на 0,5 м над КВЛ (гусиная шейка) и только затем выводят в отверстие в наружной обшивке, которое часто расположено в плоскости ватерлиии и снабжено запирающим клапаном. На самом высоком месте гусиной шейки устанавливают трубку для вентиляции, которая препятствует появлению сифонного эффекта. Последний может возникать, если в заполненной системе труб начинает падать более высокий столб жидкости

из-за ее увеличенной массы и поэтому втягивается противоположный столб (морской воды). Трубка для вентиляции прерывает этот процесс, разделяя оба уровня жидкости воздухом

Выше приведены некоторые указания, которые надо учитывать при установке фановой системы на яхте, если систему выводят за борт. Есть еще два решения, о которых стоит сказать.

Первое заключается в установке устройства, состоящего из двух элементов, одно из которых выполняет механические задачи, а второе, снабженное водяным приемником и химикалиями, служит для разложения фекалий. Воду в этом устройстве все время фильтруют и используют для процессов промывки. В нижней части гальюна находится бак, который после определенного времени пользования надо выносить на сушу и разгружать, если представляется возможность. Конструкция этих гальюнов удобна на переходный период до окончательного принятия закона и решения технических проблем.

Второе решение приемлемо только для немногих яхт: установка цистерн для грязной воды. Их предпочитают выполнять не встроенными в корпус яхты, а вкладными для возможности их очистки и ремонта. По местным правилам большинства штатов в США частично введено требование об установке подобных цистерн на борту крупных яхт и катеров.

И, наконец, еще одна возможность — полное сжигание всех твердых материалов обмена веществ при одновременном регенерировании участвующей в этом воды. В космосе эту задачу уже смогли выполнить, на земле ее решение требует несколько большего времени.

## 9.2. ОСУШИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

К средствам безопасности судов относится осушительная система, основные элементы которой регламентированы, например, Германским парусным союзом.

Для морских яхт категорий 1 и 2 (см. стр. 53) в кокпите яхты должны быть установлены сливные шпигаты, общее поперечное сечение которых составляет минимум 12,6 см². Если выводы трубы в кокпите снабжены сеткой-фильтром, что всегда надо рекомендовать во избежание загрязнений, то их проходное сечение должно быть по крайней мере такое же, как и поперечное сечение шпигата. Но лучше площадь поперечного сечения увеличить на 25% для компенсации сопротивлений потока, созданных фильтром. Это обычно не вызывает увеличения затрат на постройку, так как шпигаты все равно должны быть выполнены в виде раструба, переходящего затем к требуемому номинальному диаметру.

Для морских яхт категорий 3 и 4 требуется поперечное сечение шпигатов 9,8 см². Но так как нерационально использовать много труб с малым поперечным сечением, то обычно устанавливают две трубы с внутренним диаметром по 25 мм. Один из вариантов шпигатов для кокпита — неподвижно установленная труба, торец которой выведен на 500 мм выше КВЛ, а толщина ее стенки равна толщине наружной обшивки. Трубу устанавливают по возможности без изгиба, чтобы можно было ее чистить и консервировать внутри. К наружной обшивке трубу крепят через фланец, в который вваривают (а не наваривают) трубу. При этом исполнении течь можно ожидать повсюду на корпусе, но только не в осушительных трубах кокпита.

На рис. 181 изображена схема осушительной системы на яхте. Форпик имеет водонепроницаемую переборку. Так как в нем среди прочего хранят якорный конец или цепь, то сюда неизбежно попадает значительное количество воды. Здесь целесообразен автоматический запорный клапан, чтобы яхта в случае какого-либо столкновения не наполнилась водой через запорный клапан, который забыли закрыть. Для удаления даже незначительных остатков воды часть объема трюма, расположенную перед клапаном (см. вид сбоку), заполняют подходящим заполнителем, например цементом или стеклопластиком.

Отверстия для стока воды, которые показаны в проницаемых переборках, должны пропускать трюмную воду в самое глубокое место отсека, который ограничен переборкой форпика и носовой переборкой моторного отсека. В этом месте слева и справа от бака с горючим размещены водозаборники с приемной сеткой. Трубы проводят через переборки в моторный отсек к группе клапанов, где сосредоточены запорные устройства других осушительных труб. Отсюда можно производить все необходимые включения, т. е. удалить воду из любого отсека. Отсюда же по выбору включают одну из двух помп. Одна из них навешена на основной двигатель, который приводит ее в действие, либо спарена с электродвигателем. Другой — основной ручной помпой с помощью дистанционного привода можно управлять из кокпита.

В качестве ручных хорошо зарекомендовали себя диафрагменные помпы, так как благодаря прямой передаче силы они дают хороший напор, не очень чувствительны к загрязнениям и поэтому всегда готовы к действию. Напорный (нагнетательный) трубопровод помпы ведут сначала вверх, чтобы потом направить его в уже упомянутую осушительную трубу в кокпите. Благодаря этому забортная вода не может проникнуть через осушительную систему внутрь яхты, кроме того, не требуется делать двух лишних отверстий в наружной обшивке.

Если яхта долгое время идет на одном и том же галсе, то брызги и дождевая вода скапливаются в углах, огражденных от мест сидений каютной переборкой и комингсом кокпита.

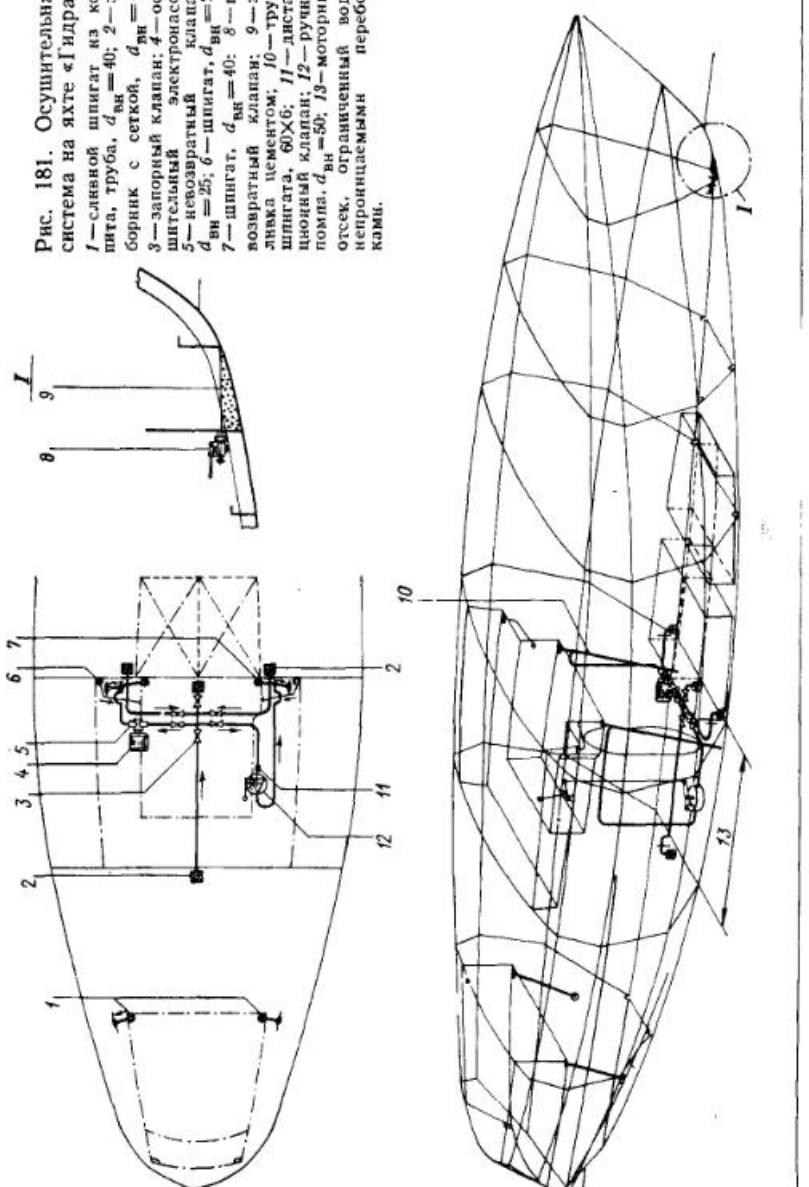


Рис. 181. Осушительная система на яхте «Гидра».
*1* — сливной шпигат из кокпита, труба, $d_{вн}$=40; *2* — заборник с сеткой, $d_{вн}$=40; *3* — запорный клапан; *4* — осушительный электронасос; *5* — невозвратный клапан, $d_{вн}$=25; *6* — шпигат, $d_{вн}$=25; *7* — шпигат, $d_{вн}$=40; *8* — невозвратный клапан; *9* — заливка цементом; *10* — труба шпигата, 60×6; *11* — дистанционный клапан; *12* — ручная помпа, $d_{вн}$=50; *13* — моторный отсек, ограниченный водонепроницаемыми переборками.



часто эту воду невозможно отвести через шпигаты, поскольку места для сидений расположены ниже, чем основная палуба. Следовательно, здесь также надо предусмотреть осушительную трубу, которую следует вывести в кокпит или направить в основную сточную трубу-шпигат.

Для расчета производительности осушительной системы есть много способов, простых и сложных. Рассмотренная осушительная система для яхты средних размеров представляет собой самое минимальное оснащение, удовлетворяющее основным требованиям.

# ГЛАВА 10. НАВИГАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ

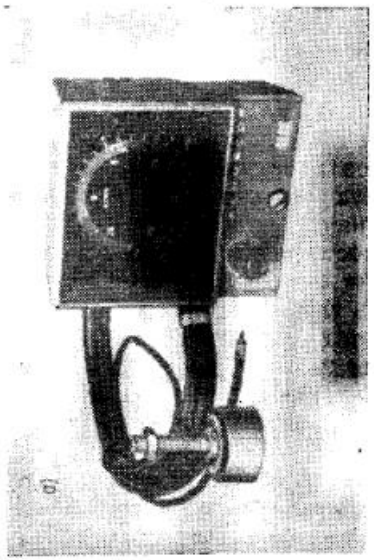
## 10.1. ЭХОЛОТ

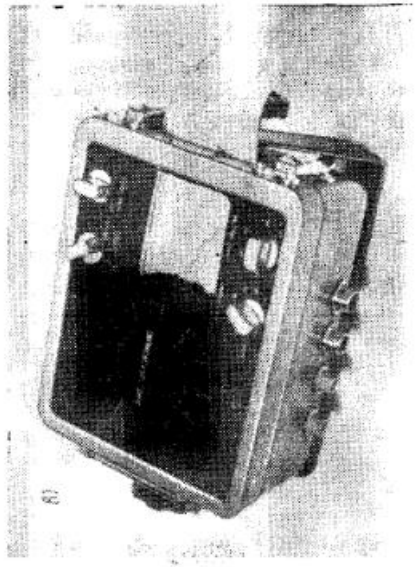
Почти на каждой яхте сегодня используются ультразвуковые волны для измерения глубины с помощью эхолота (рис. 182). Для передачи и приема импульсов звука в подводной части яхты монтируют так называемый излучатель (осциллятор), работающий как датчик и приемник звуков. Посланные звуковые импульсы проходят воду, отражаются от грунта и попадают вновь на осциллятор.

Эхолоты работают для лучшей фокусировки импульсов (5 ... 30°) с частотой ультразвука 10 и 300 кГц. Важно, чтобы последовательность импульсов была не какой угодно, а зависела от глубины воды. При глубине 50 м для более точных показаний надо делать до 15 замеров в секунду. Для эхолотов малых судов используют ультразвук частотой 180 кГц с последовательностью 7 импульсов в минуту.

По известной скорости распространения звука в воде (1,463 м/с в соленой воде) и времени между передачей импульса и его приемом можно определить глубину воды, которую измеряют в метрах, саженях или футах. Эхолоты, применяемые на яхтах, чаще всего рассчитаны на глубину до 60 м. Показания получают с помощью регистрирующего прибора с красным светом (рис. 183), у которого внутри круглой шкалы вращается неоновая лампа. Когда лампа проходит отметку нуль на шкале, то выделяется передающий импульс, который, усиливаясь как отраженный импульс через электронную схему, зажигает неоновую лампу. Вершина вспышки показывает на шкале глубину.

Другие приборы имеют цифровое устройство или механическое, которое записывает измерения глубины на бумажной ленте в виде эхограммы.





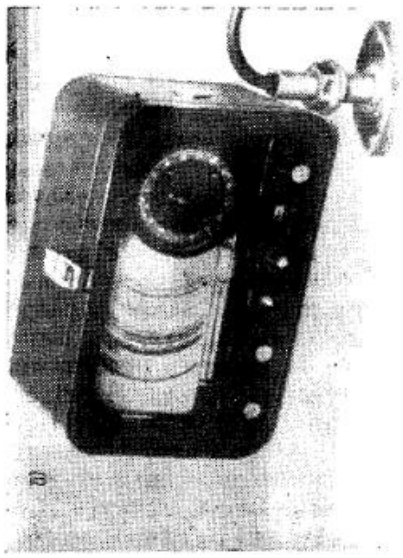
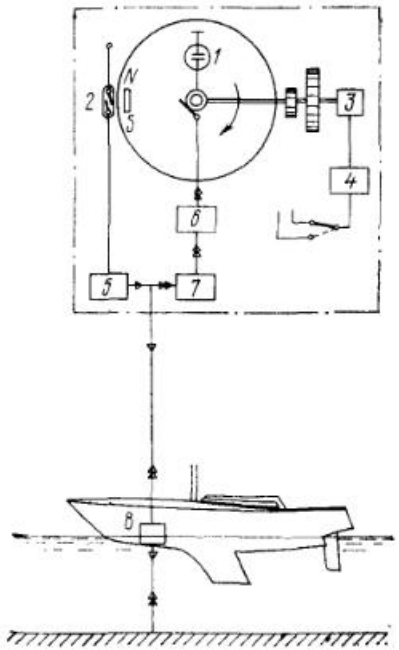


Рис. 182. Некоторые типы эхолотов, применяемых на яхтах: *а* — эхолот с вращающейся неоновой лампой; *б* — эхолот с индикатором красного цвета и механическим индикатором, обеспечивающим запись эхограммы (по принципу круговой записи); *в* — электромеханический эхолот с самописцем.



Для обеспечения хорошей работы эхолота важно правильно установить излучатель. Его неблагоприятное положение и связанные с этим помехи нельзя компенсировать даже с помощью усилителя. Осциллятор должен быть расположен при всех положениях крена в свободной от завихрений воде и, следовательно, ни в коем случае не в первой трети длины корпуса, так как здесь постоянно появляется поток воздушных пузырей, которые при быстром ходе обтекают корпус от носа вниз, и, конечно, также не в зоне засасывания потока винтом яхты. Воздушные пузыри под поверхностью излучения осциллятора вносят сильные помехи в работу эхолота.

Правильное расположение эхолота — примерно посредине длины яхты или чуть впереди мидель-шпангоута. Осциллятор находится таким образом вблизи центра качки яхты, благодаря чему исключаются дополнительные помехи при плавании на волнении. Особенно на небольших яхтах надо обращать внимание на то, чтобы осциллятор не находился рядом с двигателем. Активные шумы от основного двигателя и вспомогательных механизмов, а также непосредственная передача звуков шпангоутами, переборками и продольными связями делают



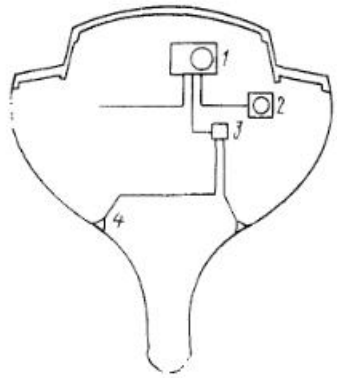




Рис. 183. Принципиальное устройство индикатора эхолота.

*1* — осветительная трубка; *2* — контактный включатель; *3* — мотор; *4* — регулировка и переключение диапазонов; *5* — импульсный генератор; *6* — конечный каскад красного света; *7* — усилитель; *8* — излучатель.

Рис. 184. На парусных яхтах часто монтируют два излучателя во избежание помех от киля при крене яхты. Излучатели переключаются автоматически.

*1* — индикатор; *2* — репитер в штурманской рубке, *3* — переключатель; *4* — излучатель.

невозможной надежную работу эхолота. Системы зажигания на карбюраторных двигателях надо непременно экранировать, так как они тоже вредно влияют на показания. В любом случае кабель от осциллятора должен проходить не ближе, чем на 0,6 м от двигателя.

На парусных яхтах применяют чаще всего два осциллятора, если придают значение тому, чтобы в лавировку на каждом галсе получить хорошие промеры (рис. 184). При установке только одного осциллятора при крене киль оказывается между осциллятором и грунтом и препятствует работе прибора. Если применяют два осциллятора, то их крепят далеко от диаметральной плоскости яхты. В зависимости от крена на тот или иной борт всегда работает нужный осциллятор, который включается автоматически.

Несмотря на выбор подходящего положения прибора, которое при всех скоростях и дифференте обещает его хорошую работу, все же при необычных погодных условиях могут возникнуть помехи в показаниях прибора. Опытный капитан обычно в состоянии правильно оценить эти помехи и, несмотря на них, получить достоверные данные о глубинах.

Излучающая поверхность осциллятора должна быть чистой от жира и краски, что нужно учитывать при обновлении окраски подводной части. Краска гасит колебания и существенно мешает работе эхолота, а в некоторых случаях делает его даже невозможной. У эхолотов большой мощности осциллятор можно монтировать внутри обшивки из стеклопластика, что имеет свои преимущества для последующей эксплуатации. Стекловолокнистый ламинат должен быть свободен от воздушных пузырей, а корпус осциллятора должен быть наполнен маслом для достижения хорошего контакта излучающей поверхности.

## 10.2. РАДИОПЕЛЕНГАТОРЫ

Под пеленгованием вообще понимают определение линий положения предмета (рис. 185). Точка пересечения по крайней мере двух таких линий определяет местоположение судна — в этом методы радиопеленгования и использования компаса сходятся. Разница лишь в том, что при радиопеленговании используют радиолучи передатчиков, географические координаты которых известны.

Радиолучи — это электромагнитные волны в основном навигационной частоты (в диапазоне 240—420 кГц), на которой работают морские и воздушные радиомаяки. Можно также пеленговать волны других диапазонов при условии, что местоположение передатчика известно.

Радиомаяки работают на высокочастотных незатухающих волнах без модулирования, включенных в ритме сигнала азбуки



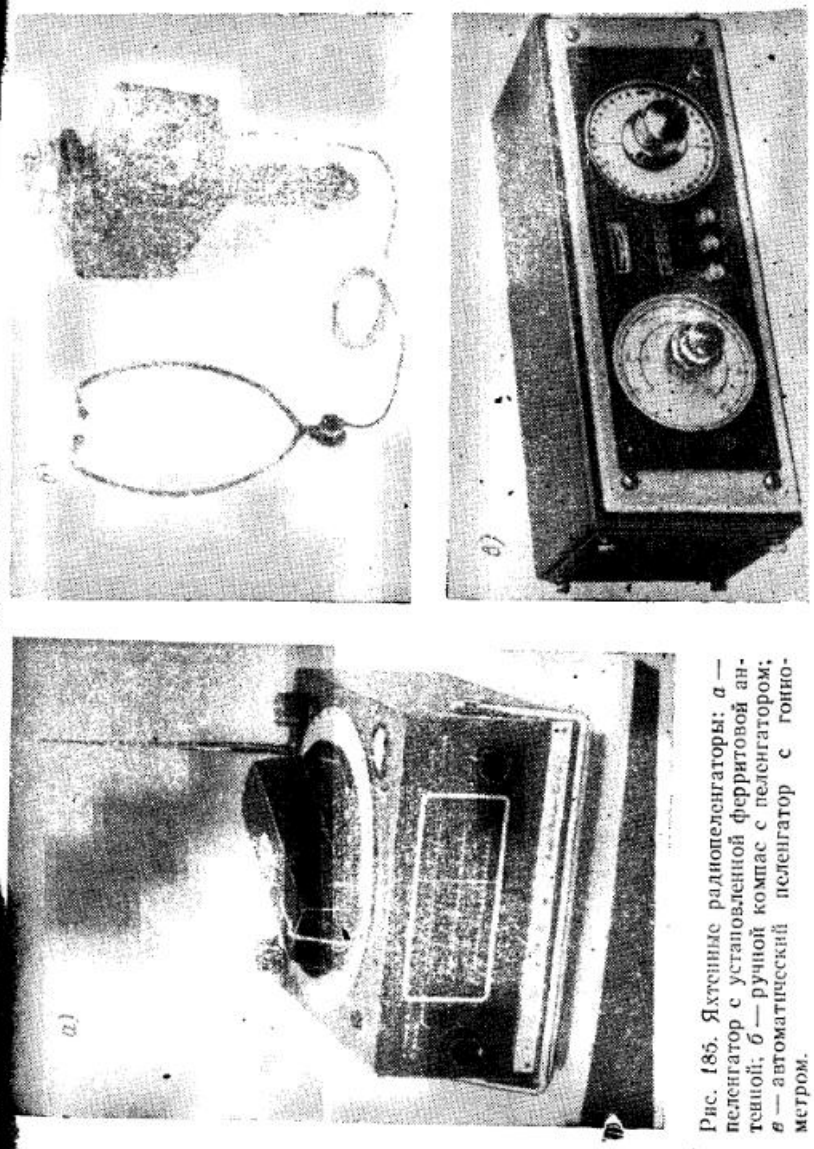


Рис. 185. Яхтенные радиопеленгаторы: *а* — пеленгатор с установленной ферритовой антенной; *б* — ручной компас с пеленгатором; *в* — автоматический пеленгатор с гонио-метром.

Морзе, (вид передачи А1) или на волнах, модулированных на один звук (вид передачи А2).

Чтобы иметь возможность радиопеленговать на борту нужна чувствительная антенна с направленной характеристикой в виде двойной круговой диаграммы (рис. 186), которая подключена к приемнику. Принцип радиопеленгования — частотно-селективное и направленное измерение напряженности поступающего поля волн. Вертикальная петля из провода – рамочная антенна отвечает всем требованиям, предъявляемым к направленно-зависимым антеннам. Магнитные силовые линии индуцируют в рамке напряжение, зависящее от его положения по отношению к передатчику. Минимум напряжения получается, когда витки, составляющие рамку, расположены параллельно полю передатчика (когда рамка ориентирована перпендикулярно направлению на передатчик-радиомаяк). Пеленгующая антенна, следовательно, должна иметь возможности вращения вокруг своей вертикальной оси, а также иметь градуированную шкалу, с которой можно считывать направление на радиомаяк или курсовой угол на него относительно ДП яхты.

Вследствие влияния ЭДС, индуцируемой в рамке-антенне радиопеленгатора, довольно трудно определить минимум радиосигнала с требуемой точностью. Это явление называется минимальным помутнением. Использованием вспомогательной антенны (без направленной характеристики) это явление можно устранить. Естественно, что при повороте антенны на 360° получаются два минимума. На яхте довольно трудно разместить рамочную антенну даже минимальных размеров, поэтому ее заменяют ферритовой антенной. Она представляет собой прямой стержень из окиси никеля или марганца с намотанной на нем катушкой, которая и служит рамкой. Необходимая поверхность антенны обеспечивается магнитным стержнем ферритовой антенны.

Современные пеленгаторы работают, однако, на пересекающихся рамочных антеннах или ферритовом кресте. Крестообразная рамка (гониометр) состоит из двух взаимно перпендикулярных рамочных антенн, благодаря чему получается направленная характеристика, которая складывается из двух удвоенных круглых диаграмм. Одна рамка ориентируется в ДП яхты, другая — в перпендикулярной ей плоскости. Электромагнитное поле передатчика, которое появляется с направления под углом 45° к ДП судна, индуцирует в обеих рамках антенны одинаковое напряжение. Если передатчик находится ближе к курсу яхты, то в рамке, параллельной ДП, индуцируется более высокое напряжение. И наоборот, если передатчик расположен ближе к траверзу, то более высокое напряжение находится в поперечной рамке. Определение направления на радиомаяк есть не что иное, как простое сложение векторов индуцированных напряжений в обеих рамках (рис. 187).

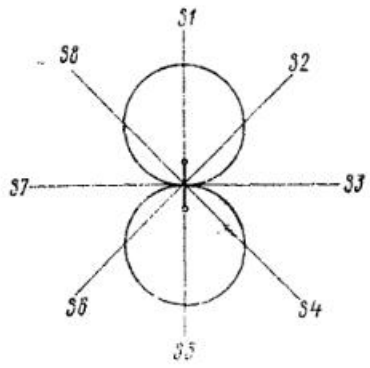



Рис. 186. Направленная характеристика рамочной антенны.



Оптимальным измерительным прибором является катодно-лучевая трубка (визуальный радиопеленгатор), к которой по отдельным каналам подаются напряжения, индуцированные в продольной и поперечной рамках. На экране появляется пеленг, который указывает направление на маяк.

Более дешевый и поэтому чаще встречающийся на яхте пеленгатор с оптическим индикатором имеет шкалу 360°, которую надо так отретулировать, чтобы стрелка индикатора стояла на нуле. Автоматические пеленгаторы выдают направление на маяк автоматически в цифрах. При работе с пеленгатором с пересекающимися рамками не нужно искать минимум сигнала путем поворота рамки антенны. Антенна установлена стационарно, а минимум напряжения определяют поворотом поисковой катушки. Важное преимущество таких пеленгаторов состоит в том, что антенну можно устанавливать дальше от приемника и на работу пеленгатора не так сильно влияют

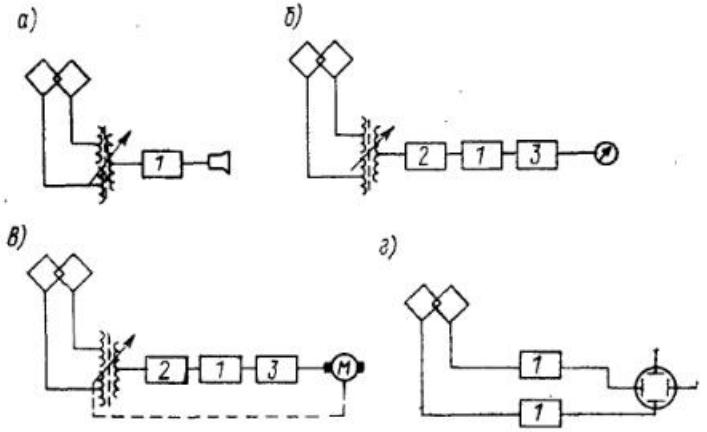



Рис. 187. Принципиальные схемы различных радиопеленгаторов с гониометром: *а* — с определением минимального пеленга на слух; *б* — с визуальным индикатором; *в* — с автоматическим индикатором; *г* — двухканальный радиопеленгатор с визуальным индикатором.
1 — приемник; 2 — входное переключение; 3 — обратное переключение.

штаги и ванты. В пересекающейся рамочной антенне измерение магнитных компонентов поля искажается. Для устранения этого и с целью горизонтального определения необходимо подключать вспомогательную антенну, в которой индуцируемое напряжение деформирует удвоенную круглую характеристику обычной антенны (рис. 188). Установка пеленгаторов на яхтах почти не представляет трудности, если их антенны имеют подходящие габариты.

Приходящую электромагнитную волну принимают на яхте и другие устройства, подобные антенне: штаги, ванты и леера. Они действуют как вторичный отражатель, энергию от которого принимает антенна пеленгатора. Это приводит к затуханию (помутнению) минимума сигнала. Антенну пеленгатора в связи с этим можно монтировать в таком месте, где влияние стоячего такелажа на электромагнитное поле оказывается минимальным. На парусных яхтах антенну можно устанавливать на топе мачты при условии, что она представляет собой перекрестную рамку и ее не надо вращать.

Пеленги, снимаемые с помощью простой рамки, всегда искаженные, так как антенну приходится монтировать вблизи пеленгующего приемника, где можно принимать электромагнитные поля только с помехами от такелажа. Поэтому здесь требуется определять и составлять таблицу радиодевиации.

### 10.3. НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

На крупных яхтах давно используется метод определения места яхты в море при помощи радионавигационных систем «Декка», «Лоран» и «Омега». С помощью «Декки» можно точно определять местоположение судна в прибрежных водах. Радиус действия системы составляет 350 миль. «Лоран» с двумя разновидностями «Лоран-А» и «Лоран-С» применяют для навигации при плаваниях на большие расстояния. Радиус действия системы составляет около 700 миль днем и вдвое больше ночью. В то время как «Декка» так называемыми цепями передатчиков охватывает труднейшие водные пути во многих частях света, определять местонахождение судна методом «Лоран» можно лишь в Северной Атлантике и на севере Тихого океана, так как только здесь размещены соответствующие передатчики. Система «Омега» охватывает обширные пространства мирового океана. Для навигации в дальних плаваниях чаще всего сочетают методы определения по системам «Декка» и «Лоран», а большие яхты кроме радиопеленгаторов оборудуют системой «Омега». Таким образом достигается оптимальное навигационное оснащение для плавания в любых водах.

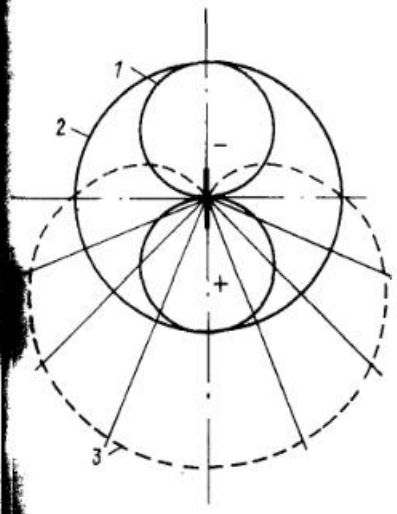
*Система «Декка»* состоит из основного передатчика-радиомаяка и трех вспомогательных передатчиков, стационарно



расположенных под углом около 120° по отношению друг к другу (рис. 189). Для определения местонахождения яхты в море необходимы кроме соответствующей аппаратуры специальные карты «Декка» с нанесенными на них передатчиками и сеткой гипербол. Передатчики располагают в центре гиперболических сфер, которые образуются как линии одинаковой разности фаз импульсов между основным и вспомогательными передатчиками.

На яхте принимается одновременно сигнал от основного передатчика и от одного вспомогательного, различные частоты которых преобразуются в сравнительную частоту. При этом сравниваются расстояния, которые прошли обе отраженные электромагнитные волны, т. е. сравниваются мгновенные состояния движения волн — фазы. Местоположения всех приемников с постоянной разностью фаз нанесены на карты в виде гипербол, центрами которых являются передатчики «Декка». Цвет гиперболы от различных передатчиков соответствует цвету, присвоенному вспомогательным передатчикам. Цепь «Декки» выглядит так: основной передатчик — черный $6f$; вспомогательный передатчик — красный $8f$; вспомогательный передатчик — зеленый $9f$; вспомогательный передатчик — фиолетовый $5f$.

Частота каждого передатчика — постоянно заданная и кратная частоте основного передатчика $f$. В системе «Декка» используются полосы частот в диапазоне 70,223—128,58 кГц, так что частоты основных радиомаяков составляют от 14,166 до




1 — напряжение, индуцируемое в рамке; 2 — напряжение от вспомогательной антенны; 3 — суммарное напряжение.

Рис. 188. Направленная характеристика антенны с двумя перекрещивающимися рамками и вспомогательной антенной.

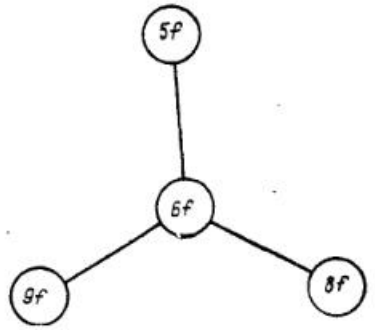



Рис. 189. Расположение системы «Декка», состоящей из основного радиомаяка и трех вспомогательных.

16,137 кГц. Зоны между передатчиками обозначают буквами *A, B, C, D ... J*. В этих зонах лежат гиперболы, отмеченные цифрами: для красной группы передатчика 0—23; для зеленой 30—47; для фиолетовой 50—70.

Процесс определения местоположения судна очень прост. На приборе (рис. 190) устанавливают ориентированные полосы местоположения и считывают с него десятые и сотые доли полосы. Полученные значения двух гипербол находят на карте «Декка». Точка их пересечения даст точное местоположение судна (рис. 191).

Установка по системе «Лоран» состоит как минимум из двух передатчиков-радиомаяков. Первый из них посылает определенный ряд импульсов, которые второй передатчик принимает и использует для синхронизации направления своей передачи. Он излучает с замедлением в половину периода эти импульсы и сигналы опознавания. Приемник на судне (рис. 192), настроенный на диапазон передачи двух таких радиомаяков, принимает оба ряда импульсов и определяет разность времени их прохождения. Все суда, на которых замерена одна и та же разность времени прохождения импульсов, находятся на одной и той же гиперболе. Современные приборы выдают данные в цифрах (рис. 192). Как и у системы «Декка», местоположение судна определено, если найдены две гиперболы — точка их пересечения (рис. 193). Гиперболы линий положения имеют номера и нанесены на специальных картах системы «Лоран». В соответствии с этим прибор так отградуирован, что вместо разности времени прохождения импульсов сразу можно считать номер гиперболы местоположения судна.

По передающей частоте различают системы «Лоран-II» и «Лоран-С», которые состоят из трех или четырех радиомаяков. В системе «Лоран-II» используются частоты около 2000 кГц, в системе «Лоран-С» — 100 кГц.

*«Омега»* — самая современная навигационная система. Как и у системы «Декка», линию положения получают путем измерения разности фаз импульсов, одинаковых по времени и частоте,

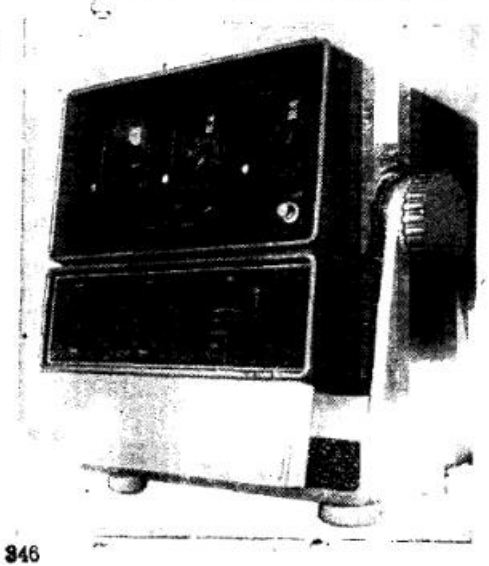


Рис. 190. Навигационная установка «Декка» на судне.



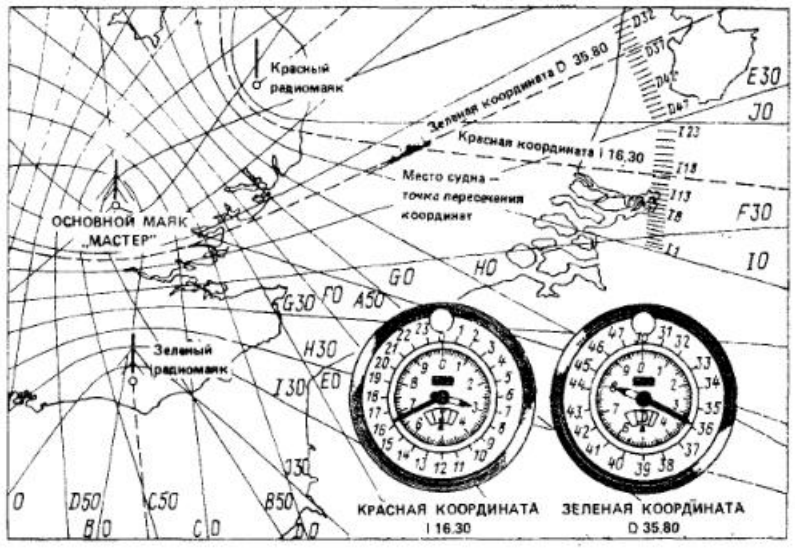



Рис. 191. К определению местоположения судна по навигационной системе «Декка».

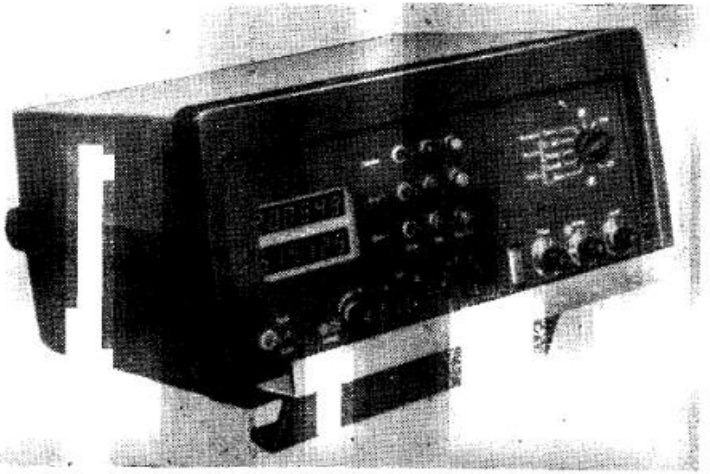


Рис. 192. Приемник навигационной системы «Лоран».

подаваемых по крайней мере тремя радиомаяками. Здесь применяют волны самой большой длины в диапазоне частот 10—14 кГц, преимущество которых в том, что скорость их распространения постоянна и заранее рассчитана. Эти волны движутся между поверхностью земли и ионосферой и имеют такой большой радиус действия, что можно принимать их даже на расстоянии до 10 000 миль от передатчика. Поэтому для системы «Омега», охватывающей все мировое пространство, достаточно только восемь передатчиков (пять в северных и три в южных полусферах). Все передатчики системы излучают основную частоту 10,2 кГц в определенном ритме. В перерывах передачи на этой частоте подают сигналы на частотах 11,33 и 13,6 кГц один за другим, чтобы определить однозначность линий положения. Основная частота дает полосы гипербол шириной 8 миль, поэтому необходима большая точность в отсчете времени и частоты. В системе используются атомные часы, точность которых составляет 1 мкс.

Для использования системы «Омега» также необходимы специальные карты.

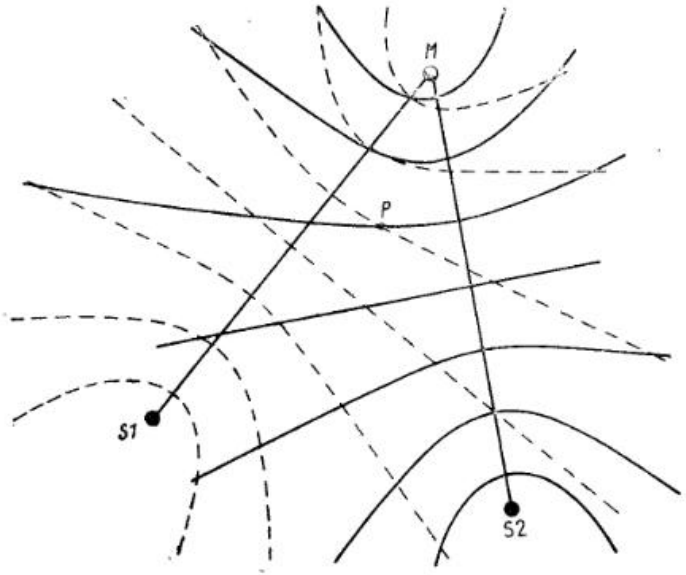



Рис. 193. Упрощенное изображение сети гипербол системы «Лоран». Множество гипербол образуется основной станцией $M$ и двумя вспомогательными $S1$ и $S2$. Местонахождение судна $P$ определяется точкой пересечения линий положения двух пар передатчиков.



## 10.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ (ЛАГИ)

Лаги измеряют в большинстве случаев скорость судна относительно воды. Только лагом, работающим на принципе Допплера, можно измерять скорость судна относительно грунта. Приборы показывают скорость судна в узлах, т. е. в морских милях в час. Некоторые приборы отградуированы в километрах в час. Часто лаг показывает также пройденное расстояние в морских милях или километрах.

Простые лаги, иногда называемые спидометрами, состоят из регистрирующего прибора (индикатора) и соответствующего датчика, который чаще всего выполняется в виде небольшого винта-вертушки, приводимого во вращение встречным потоком воды (рис. 194). При каждом обороте встроенный магнит посылает электрический импульс в электронную схему, которая выдает пройденное расстояние на цифровом счетчике. Для определения скорости хода импульсы интегрируются, усиливаются и указываются на индикаторе. Эти приборы потребляют мало тока и часто питаются даже от сухих батарей. Датчик устанавливают в подводной части яхты, вблизи ДП в передней трети корпуса яхты. Если это невозможно, то ставят два датчика, которые свободны от завихрений. В зависимости от обводов корпуса яхты на вертушку лага могут действовать различные потоки, искажающие результаты измерения. Поэтому у этих приборов предусматривается возможность корректирования показаний индикатора.

Винт, или вертушка, лага — чувствительная деталь. Морские водоросли и животные (креветки) могут вывести ее из строя. Поэтому вертушку монтируют так, чтобы можно было

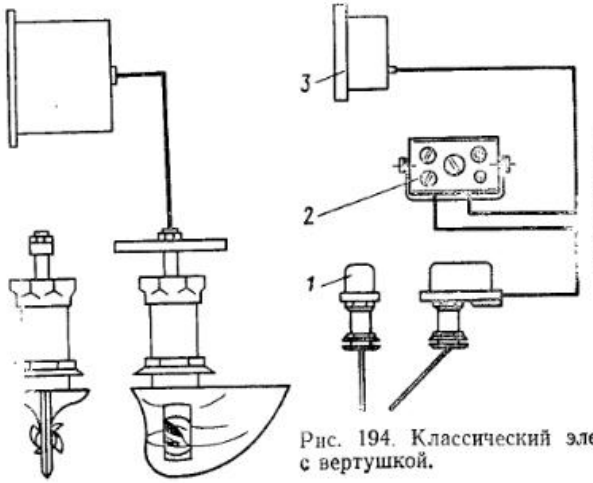



Рис. 195. Схема лага, основанная на измерении сопротивления воды движению яхты.
*1* — датчик; *2* — преобразователь; *3* — индикатор скорости.

Рис. 194. Классический электромеханический лаг с вертушкой.

ее вынимать без подъема яхты на берег. Иногда подводная часть датчика оснащается клапаном, который позволяет снимать вертушку на плаву. При другом методе измерения скорости используется датчик давления. Сопротивлением воды движению яхты, которое зависит от скорости, штифт щупа вдавливается назад. Он соединен с регулируемым электрическим сопротивлением, которое в зависимости от давления воды передает индикатору различные значения (рис. 195). Как и вертушка, этот датчик имеет защиту от грязи и морских водорослей.

Спидометр со щупом особенно рекомендуется для установки на яхтах, в соответствии с чем настроен и диапазон показаний этого прибора. Датчик весьма чувствителен уже при небольшой скорости и фиксирует разность скоростей примерно 0,1 уз, что делает его незаменимым при настройке парусов.

У электромагнитного лага датчика нет. В измерительном щупе (рис. 196) находится катушка, которая, питаясь переменным током, создает в воде магнитное поле, расположенное перпендикулярно к направлению хода. Если щуп движется в воде, то имеющиеся там носители зарядов (ионы) отклоняются относительно направления движения. На двух электродах, укрепленных в боковых стенках обтекателя, вследствие этого возникает напряжение, пропорциональное скорости относительно воды. В предварительном усилителе создается разность напряжений, которая управляет серводвигателем. Серводвигатель вращается до устранения разности между напряжением измерительного щупа и напряжением компенсации. Положение управляемого сервопотенциометра показывает скорость. Одновременно интегратор Миллера управляет электромагнитным выключателем, который дает импульсы на индикатор для вычисления и указания пройденного расстояния.

Электромагнитный лаг изготовляется на основе дорогостоящей электроники. Однако его преимуществом является высокая точность измерения скорости ±0,15 уз. Лаг Допплера измеряет скорость судна относительно грунта при определенной глубине. Датчик прибора является вибратором, который излучает ультразвуковые волны назад и вперед под определенным углом к поверхности воды вниз. Волны отражаются от морского дна (при больших глубинах — от слоя воды). Поскольку судно движется, происходит сдвиг частоты при приеме: в то время как исходный сигнал вибратора постоянный, частота принятого отраженного сигнала увеличивается с возрастанием скорости яхты. Частоту приема и передачи сравнивают одну с другой и в подключенной электронике преобразуют в скорость или расстояние, которые можно считывать с прибора по шкале или на индикаторе.

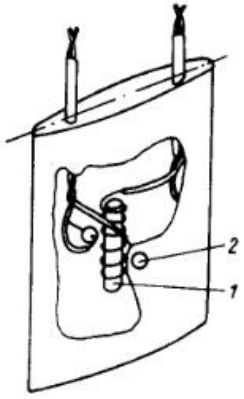



Рис. 196. Конструкция измерительного щупа электромагнитного лага.

*1* — система электромагнитов; *2* — электроды.

Если звуковой луч отразился от дна, получают представление о действительном направлении движения и скорости судна относительно морского дна. В районах с большими глубинами, где измерения ведут относительно слоя воды на определенной глубине, этот метод по точности измерения превосходит все другие, так как поверхностные течения не сказываются на показаниях прибора.

Лаг Допплера не имеет подвижных механических частей под водой. Поэтому он мало чувствителен к возможным механическим влияниям снаружи. Передающая частота лага Допплера лежит в диапазоне от 100 до 2,4 мГц.

Яхтенные лаги работают часто на более высоких частотах, так как при низкой частоте передачи требуется установка деталей больших габаритов, которые сложно разместить в подводной части корпуса яхты.

## 10.5. МАГНИТНЫЙ КОМПАС

До сих пор магнитный компас остается самым главным навигационным прибором на борту яхты. Его магнитики, помещенные под картушкой, автоматически устанавливаются параллельно магнитным меридианам, которые опоясывают земной шар. Однако магнитный компас реагирует не только на магнитное поле Земли. Магнитное поле самого судна также влияет на его показания, так что при установке компаса надо учитывать некоторые законы.

Масса железа, сосредоточенного в корпусе судна, отклоняет силовые магнитные линии Земли. Этот эффект особенно заметен на яхтах со стальными корпусами и надстройками. Даже в частично закрытом помещении из стали компас не может показывать правильного направления. Поэтому его устанавливают на стойке из немагнитного

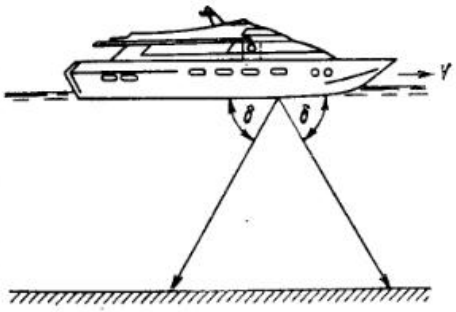



Рис. 197. Принцип лага Допплера: вибратор излучает ультразвуковые волны, направленные вперед и назад. Из сравнения частоты приема и передачи можно измерить двойное смещение и тем самым скорость судна.

материала высотой не менее 0,8 м выше надстройки и по возможности близ миделя яхты с учетом симметричного распределения железных масс. Если стальная яхта имеет надстройку из алюминия, то компас можно монтировать на надстройке или на крыше рулевой рубки. Для того чтобы он надежно показывал направление на север, влияние корпуса надо в любом случае компенсировать. Это достигается установкой небольших компенсационных магнитов. Компас можно устанавливать не ближе 0,8 м от двигателя или других больших стальных масс. Это довольно сложно реализовать на парусной яхте, на которой компас расположен близко к днищу кокпита на рулевой стойке. При крене вследствие изменения относительного расположения двигателя и компаса происходит настолько сильное искажение магнитного поля Земли, что не помогает даже компенсация девиации прибора. Кабели постоянного тока, расположенные вблизи компаса, также отклоняют картушку, поскольку ток индуцирует магнитное поле, окружающее кабель. Это влияние тем сильнее, чем больше сила тока, протекающего по проводу. Поэтому несколько проводников, состоящих из одной проволоки, необходимо скручивать вместе. Магнитные поля отдельных проводов при этом взаимно уничтожаются. Желательно также вместо двухпроводного кабеля применять четырехпроводной и так подключать, чтобы два проводника использовать для прямого (+) и два для обратного (—) направления тока. Следует учитывать, что скомпенсировать влияние тока с помощью магнитов трудно, так как нагрузка кабеля не является величиной постоянной.

Освещение компаса в любом случае должно быть устроено так, чтобы не ослеплять рулевого. Освещенность компаса следует регулировать с помощью потенциометра. Рано утром и в вечерних сумерках нужен яркий свет, а ночью замаскированный свет щадит зрение. Предпочтительным считается цветное освещение — чуть зеленоватое. Проще всего решается проблема освещения у компаса с прозрачным днищем. В других случаях компас оборудуют верхним освещением с источником света, находящимся в оправе на плексигласовой крышке. Лампочки мощностью 5 Вт достаточно. Так как потенциометр состоит из проволоки, намотанной на фарфоровый корпус, то он действует как индукционная катушка, магнитное поле которой влияет на показания компаса. Это необходимо учитывать при монтаже системы освещения компаса.

## 10.6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПАРУСНЫХ ЯХТ

Если капитан старого парусника мог полагаться только на свой опыт, то сегодня почти каждая парусная яхта оборудована приборами, которые повышают точность плавания.



Для определения направления и скорости ветра есть приборы, которые в комплекте с указателем лавировочного угла позволяют выбирать оптимальную крутизну яхты к ветру и наиболее эффективно поставить паруса. Такие приборы состоят из индикаторов и датчиков, установленных на топе мачты и представляющих собой флюгер и чашечный анемометр (рис. 198, 199). Флюгер передает через сельсин сигналы на индикатор, а чашечный анемометр создает электрические импульсы, которые преобразуются в индикаторе в отклонение стрелки. Сельсины (рис. 200) существуют в виде потенциометра или контактного датчика. Первый представляет собой фарфоровое кольцо, на котором намотана реостатная проволока. Контактный ползунок передает положение флюгера на потенциометр, который в зависимости от этого изменяет значение сопротивления. При контактной передаче кольцо разделено на контакты. Ползунок передает электрические сигналы на измерительный прибор, который показывает направление ветра отклонением стрелки или загорающимися лампочками. Контактная передача дает ступенчатые показания, которых, однако, достаточно, если кольцо разделено на большое число секторов.

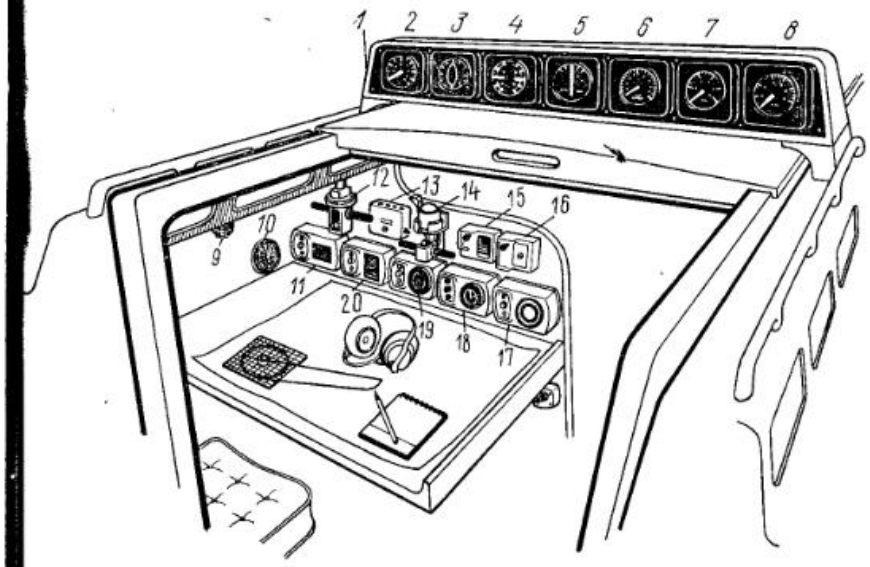


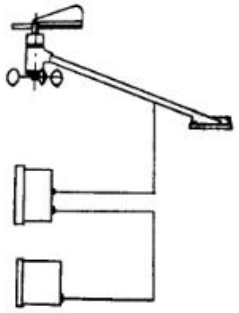

Рис. 198. Типовое расположение приборов на крейсерско-гоночной яхте.

*1* — приборная консоль, установленная на крыше рубки; *2* — анемометр (указатель скорости ветра); *3* — указатель направления вымпельного ветра; *4* — указатель лавировочного угла для курса бейдевинд; *5* — индикатор курса; *6* — индикатор изменения скорости; *7* — репитер лага; *8* — репитер эхолота; *9* — компас; *10* — индикатор отклонения от курса; *11* — калькулятор курса; *12* — радиопеленгатор; *13* — прибор для подзарядки батарей; *14* — переносной радиопеленгатор с компасом; *15* — блок схем приборов измерения скорости ветра; *16* — коротковолновый преобразователь; *17* — радиоприемник; *18* — радиокомпас; *19* — эхолот; *20* — лаг.

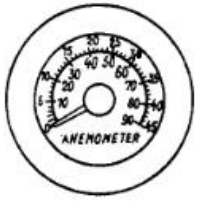
Электрические импульсы для указателя скорости ветра создаются различным образом. Маленький магнит, встроенный во вращающийся ротор, открывает и закрывает при каждом повороте ротора магнитный выключатель. Число импульсов соответственно пропорционально силе ветра.

Более дорогие приборы работают на фотоэлементах. Здесь ротор приводит в движение зубчатый диск, расположенный между источником света и фотоэлементом. При каждом обороте световой луч прерывается, и возникающие в результате этого импульсы тока показывают на измерительном приборе силу ветра. Существует также много комбинированных устройств, схемы которых размещены в одном общем корпусе. Новинкой являются компьютеры для гоночных яхт, которые рассчитывают исходя из курсового угла ветра и скорости яхты наиболее выгодную установку парусов на заданном курсе. Кроме того, приборы показывают оптимальный курсовой угол ветра. Отсчет снимается с одного единственного прибора, который размещают обычно около трапа на уровне глаз рулевого. На гоночных яхтах эти приборы монтируют иногда на правом и левом бортах, так чтобы они были всегда видны рулевому, находящемуся на наветренном борту. Приборы для оптимальной настройки парусов, показания которых также важны для команды, часто размещают в среднем кокпите.

Идеальным местом для установки приборов является консоль, помещаемая над трапом. Эти приборы хорошо видит рулевой, и, кроме того, их можно смонтировать в цеху. Измерительные приборы стараются монтировать в вертикальном положении. При горизонтальной установке шкалы на снятие отсчета влияет отражение света от стекла. Кроме того, при солнечном излучении приборы очень сильно нагреваются, чему способствует их черный цвет. Разумеется, что все приборы должны быть водонепроницаемого исполнения.



◀ Рис. 199. Схема индикатора направления и скорости ветра.



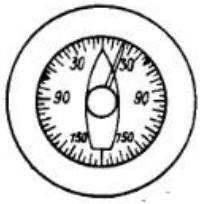
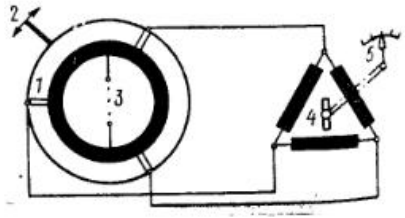



Рис. 200. Принцип телепередачи направления ветра на индикатор (сельсин).
*1* — щетки; *2* — флюгер; *3* — питание; *4* — якорь; *5* — индикатор.




Датчик для указания направления и силы ветра устанавливают на топе мачты впереди нее так, чтобы на него не влияли завихрения воздуха и чтобы при крене он не попадал в ветровую тень парусов или стекающего с них ветра.



# ГЛАВА 11. ЗАЩИТА ЯХТ ОТ МОЛНИИ И КОРРОЗИИ

## 11.1. ГРОЗОЗАЩИТА

Удары молний в яхты наблюдаются сравнительно редко. И все же грозозащите надо уделять внимание, тем более что затраты на нее, как правило, незначительные.

Молнии — это выравнивающие разряды между электрической напряженностью полей. В нижних слоях грозового облака вследствие влажного состояния воздуха возникают отрицательно заряженные частицы, а вверху — положительно заряженные частицы. Первые разряды происходят внутри этих слоев и благодаря ионизации воздуха вызывают другие процессы разрядки. Собственно молния возникает вследствие этой цепной реакции примерно на высоте 30 м как процесс разрядки между землей и облаком, причем напряженность поля может возрастать до 10 кВ/см. Продолжительность такого разряда составляет до 1 с, но обычно бывает много меньше. При этом возникает сила тока до 20 кА. Из-за резкого возрастания силы тока от 0 до 20 кА в течение миллионной доли секунды полупроводники, содержащие воду, такие, как деревянные мачты и живые существа, взрываются вследствие испарения воды. Алюминиевые мачты, металлические штаги, наоборот, эффективно отводят ток 20 кА, даже если их поперечное сечение недостаточно для такой силы тока. Короткое время, в течение которого протекает ток, как раз достаточно для нагрева проводника.

Задача грозозащитной установки на яхте — отводить ток, вызванный молнией, через металлические проводники в воду. Для этого можно использовать мачту, антенны, а также стоячий такелаж парусной яхты. Все устройства, применяемые для грозозащиты, должны быть хорошо соединены друг с другом и со стальным корпусом или алюминиевой мачтой. Хорошо заземленная мачта и соединенные с ней проводником штаги образуют экран против удара молнии (рис. 201). В американской литературе приводятся такие цифры: 99% безопасности при

угле раствора стоячего такелажа 120° и 99,9% — при угле 90°. Поэтому не только люди, сидящие внутри металлической яхты, защищены от удара молнии, но и рулевой, защитой для которого служит клетка из штагов и вант.

Суда без мачт и надстроек не имеют этой защитной зоны и им грозит опасность поражения молнией. Если корпус яхты построен из диэлектрика, например, из стеклопластика, и имеет деревянную мачту, установка грозозащитного устройства обходится гораздо дороже. В этом случае все штаги и ванты, поскольку они идут на топ мачты, необходимо соединять проводником через оковку топа мачты. Ток молнии отводится не через мачту, а распределяется в зависимости от сопротивления между штагами и вантами. Вант-путенсы и соответственно самые нижние точки штага должны быть соединены с килевыми болтами через проводники достаточно большого сечения (минимум 35 мм²). Все большие металлические части (цистерны, носовой и кормовой релинги, лебедки и другое оборудование) необходимо соединить с килевыми болтами кабелем, поперечное сечение которого должно быть не менее 16 мм². Все соединения между местами подключения и проводами должны быть механически надежными, хорошо проводящими ток и не подвергаться ржавлению. Любое увеличение сопротивления приводит к опасному нагреву проводников и контактов при ударе молнии. Штаги и ванты не должны, разумеется, иметь изолирующих пластмассовых коушей или орешковых изоляторов антенн. Если штаг используют как антенну, то надо применять специальные талрепы с вмонтированным в них искровым разрядником для молнии. Они рекомендуются также в случае, если необходимо избавиться от помех радиопеленгованию.

Привинченный болтами и окрашенный снаружи свинцовый киль дает хорошее «заземление» с водой. На пластмассовых корпусах, однако, киль часто совершенно изолирован от воды. В этом случае надо установить в подводной части обшивки металлический лист для заземления, площадью самое меньшее 0,25 м². Площади поверхности клапана для помпы гальюна, например, для этой цели недостаточно.

Отводы от самых нижних точек штагов и вант-путенсов нужно вести

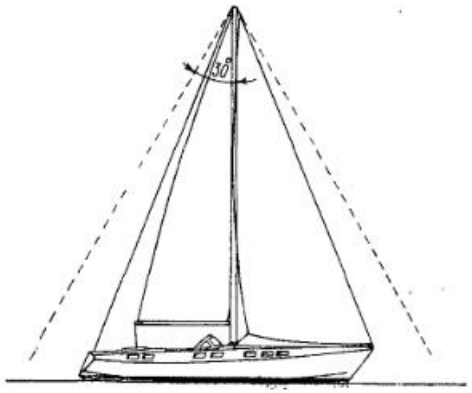



Рис. 201. Мачта и штаги образуют экран против удара молнии, которая распространяется над судном в виде конуса с углом раствора около 60°.



самым коротким путем к килю или листу заземления. Острых углов и даже петель проводника надо избегать по причине индукционного влияния. Если мачта стоит в степсе на палубе, кабель от него надо провести в трюм (рис. 202).

Особую проблему на парусной яхте вызывает алюминиевая мачта. Так как между мачтой и водой расположены только днищевые балки, то молния в этом месте может пробить течь, поскольку возможность сделать здесь достаточно надежное заземление маловероятна. В этом случае рекомендуется от шпора мачты провести большое число проводов в форме звезды по возможности сечением 50 мм² и надеяться, что молния пойдет через киль.

## 11.2. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ

*Электролитическая коррозия.* Предпосылкой для появления процессов электролитической коррозии является токопроводящая жидкость или электролит. Такая коррозия очень опасна и быстро распространяется. Если металл корпуса судна соприкасается с морской водой, то у его поверхности протекает своеобразный процесс, являющийся причиной износа материала. Положительно заряженные атомные ядра отделяются от своих электронов и уходят в воду. Давление, с которым эти осколки атомов (ионы) отрываются в электролит, для каждого металла и сплава различно. Металлы, распределенные по величине своего давления (или потенциала), составляют ряд напряжений металлов.

Из-за отрыва ионов морская вода становится положительно заряженной, а металл благодаря оставшимся электронам — отрицательно заряженным. В закрытом сосуде эти заряды противились бы продолжающемуся отделению, так как, с одной стороны, положительные ионы (катионы) притягиваются отрицательным металлом, с другой,— отталкиваются положительным электролитом. Но воду, в которой плавает яхта, зарядить положительно невозможно даже супертанкеру.

Другая причина отрыва ионов от наружной обшивки судна — разность потенциалов вследствие неоднородной структуры металла, разности температур или дефектов поверхности (царапины и трещины). У движущегося судна добавляется еще

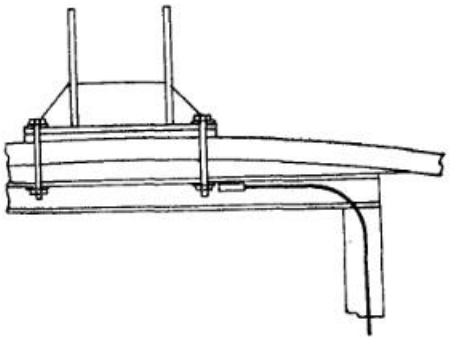


Рис. 202. Степс мачты на яхтах из дерева и пластмассы должен соединяться с килем проводником достаточно большого поперечного сечения.

влияние сильного встречного потока воды: из-за так называемого разрыва жидкости (кавитации) изменяется давление у поверхности корпуса. Вследствие разности потенциалов образуются микроскопические гальванические элементы. Так, гальванический элемент, возникающий в паре бронзовый винт — стальная обшивка корпуса, в значительной степени разрушает обшивку судна в корме (здесь, кроме того, играет роль приток кислорода из пенящейся воды). Если рядом находятся детали из меди и цинка, то вследствие разности потенциалов между этими металлами электроны переходят от цинка к меди. Компенсация этих зарядов происходит постоянно благодаря выделению новых ионов цинка. Электрический ток будет проходить до тех пор, пока цинк не растворится полностью. У поверхностей металлов образуется электрическая цепь между местами с разными потенциалами. Ток в таких цепях всегда направлен в сторону элемента с меньшим потенциалом (о чем можно судить по приводимым данным: применяемые в судостроении металлы и сплавы расположены в порядке убывания потенциала).

| Металл | Потенциал, мВ |
|---|---|
| Магний | —1600 |
| Цинк | —1050 |
| AlZn4Mg | —1000 |
| AlZn1 | —900 |
| AMr5 | —800 |
| AMr3 | —780 |
| AlZnMgCu | —770 |
| AlMgMn | —760 |
| Чистый алюминий (99,5%) | От —750 до —760 |
| Силумин | —750 |
| АМЦ | —740 |
| Кадмий | От —740 до —760 |
| GAlSi12 | От —700 до —730 |
| CAlCu4 | —650 |
| Железо | —650 |
| Дюралюминий, закаленный в холодном состоянии | От —580 до —600 |
| Свинец | От —480 до —500 |
| Олово | От —450 до —470 |
| Латунь (50% цинка) | —350 |
| Никель | —270 |
| Латунь (30% цинка) | —250 |
| Медь | —200 |
| Серебро | От —50 до —150 |
| Ртуть | 0 |
| Хромоникелевая сталь 18/8 | +100 |
| Золото | +220 |
| Платина | +240 |

Как видно, чем дальше друг от друга расположены металлы, тем больше напряжение и сильнее ток. Один ампер уносит в год примерно 9 кг железа — для большого стального корпуса это даже незаметно. Поэтому большой анод при маленьком



катоде неопасен. Конечно, судостроительные лакокрасочные покрытия благодаря своей плотности создают хороший защитный слой против электролитической коррозии. Однако при эксплуатации судна эта плотность оказывается непродолжительной. Тончайшие трещинки в покрытии открывают доступ электролита к металлу и дают начало коррозии. Хорошей защитой против коррозии является катодный слой. Поскольку всегда изнашивается только анод, то основной металл покрывают металлом, имеющим более низкий потенциал (например, оцинкованная листовая сталь). Цинк в электрохимическом отношении обладает большей активностью, чем сталь, и распадается как анод. Это препятствует ржавлению стали. Другое преимущество: цинк очень медленно растворяется. Но, к сожалению, все еще отдают предпочтение благородным покрытиям металлов, таким, как хром. Просто потому, что они хорошо выглядят. Однако, как и краска, эти покрытия защищают от коррозии только при совершенной плотности. Никель лишь украшает, но не защищает от коррозии, даже если покрытие выполнено безупречно. Алюминий и его сплавы можно защищать анодированием, что на практике означает электролитическое окисление. Основной металл образует слой окислов, который препятствует дальнейшему развитию коррозии. Последующими методами окраски и пропитывания можно еще более повысить устойчивость этого слоя против коррозии и износа.

Места подводной части судна, особенно сильно подверженные коррозии, защищают с помощью анодов — небольших металлических блоков, металл которых по отношению к корпусу является неблагородным. Стальной корпус защищают анодами там, где возникают гальванические элементы, например, в районе бронзового гребного винта. Цинковые аноды регулируют содержание ионов железа (которое по отношению к бронзе является анодом). Железо не убывает, более того вместо него идут в раствор ионы цинка (рис. 203). Аноды изготовляют из чистого цинка с примесью 0,1—0,15% ртути. Для алюминиевых яхт используют иногда аноды из сплава магния, однако и в этом случае хорошо зарекомендовал себя цинк.

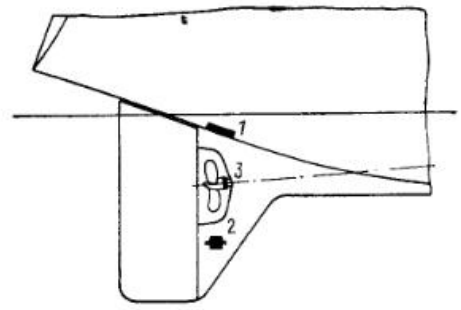



Рис. 203. Расположение защитных анодов на алюминиевой яхте.

*1* — цинковый анод, вмонтированный для хорошего обтекания корпуса водой заподлицо с поверхностью; *2* — цинковый анод, приварен к плавнику руля; *3* — цинковое кольцо для защиты стального вала от разрушения в паре с бронзовым гребным винтом.

Алюминиевые суда нелегко защитить от коррозии, так как из металлов алюминий расположен дальше всех в отрицательной области. Некоторые сплавы алюминия даже по отношению к цинку являются катодами, так что не допускается применение даже оцинкованных болтов, хотя при этом они не изнашиваются. В этом случае применяют болты из высококачественной нержавеющей стали. На палубе любое клепаное или привинченное соединение другого металла с алюминием надо электрически изолировать от алюминия. Дельные вещи из бронзы в подводной части корпуса в любом случае следует монтировать изолированно по отношению к алюминиевому корпусу. Лучше всего применять забортную арматуру из пластмасс.

К металлам, которые уживаются вместе в морской воде, относятся медь, бронза и монель-металл, расположенные в таблице потенциалов близко один к другому. Алюминий, сталь с низким содержанием углерода и активную высококачественную нержавеющую сталь можно также применять вместе, но с осторожностью. Гальваническая коррозия появляется, если оцинкованная сталь находится в соленой воде рядом с бронзой или монель-металлом. Сначала возникает маленькое отверстие в слое цинка, затем развивается глубокая язва в стали на самом коротком пути ионов, по которому цинк уже ушел в раствор.

Разницы между речной и морской водой сегодня можно не делать, потому что реки также наполнены солью. Для лодок и судов нельзя применять простую латунь, так как она отдает цинк независимо от того, эксплуатируется судно в соленой или речной воде.

Электролитическое разрушение металлов возникает не только из-за разницы потенциалов между различными материалами в электролите. Дефекты в собственной бортовой электросети могут иметь неблагоприятные последствия. Если исходя из упругости растворения металлов коррозию можно сравнить с первичным элементом (батарейка карманного фонаря), то, не будучи очень точным, коррозию, вызванную потоком паразитного тока, можно уподобить вторичному элементу (аккумулятору).

Когда постоянный электрический ток подают на борт для зарядки аккумуляторов, судно заряжается, например по отношению к причальной стенке, анодом. Если часть тока идет обратно не через кабель, а вследствие дефекта в его изоляции через воду, то на наружной обшивке появляются коррозионные язвы. В зависимости от силы тока (25 А в час «съедают» около 30 г железа) за короткое время стоянки значительная площадь обшивки может быть поражена коррозией.

Если ток подают на борт через простой кабель, например для обогрева каюты, то через поврежденную изоляцию в отопительном приборе часть тока может идти от наружной обшивки через воду к земле и разъедать металл борта, повернутый к причалу. Самый опасный случай — это работа бортовой батареи на постоянном токе с берега в буферном режиме. С одной стороны, постоянный ток образует аноды, с другой — у судна особенно хорошая связь с батареей именно через стартер, который, к сожалению, еще и сегодня выполняют однополюсным. Тут не помогает никакая изолированная установка двигателя и никакая изоляция его от гребного вала. Через воду системы охлаждения двигатель электрически всегда связан с корпусом судна. Следовательно, зарядный ток должен поступать на борт только через разделительный трансформатор, благодаря чему у судна не возникает электрического соединения с землей, а только магнитное. Нет тока, вызывающего коррозию, судно и причальная стенка не образуют двух полюсов. Разделительный трансформатор следует устанавливать изолированно на судне и он не должен иметь никакого электрического соединения с наружной обшивкой или двигателем. При поврежденной изоляции или коротком замыкании в трансформаторе необходимо заземлить железный сердечник на суше через третий провод.

Если судно находится в воде, которая проводит электрический ток, то в корпусе судна происходит перемещение электронов, даже если нет соединения с источником тока. Металл одного борта обогащается электронами, а с другого борта они уходят в воду. Борт, в металле которого уменьшенное количество электронов, обладает более высокой упругостью растворения. Он становится анодом и корродирует. Борт, металл которого имеет более высокое число электронов, защищен от коррозии как катод. Такое преобразование бортов в катод и анод тем заметнее, чем плотнее стоят лодки в гавани. При длительном протекании тока на катоде разрушается слой окраски. Вследствие образования микропузырьков водорода краска лопается и во время плавания появляется в этих местах локальная коррозия. Металлы, бывшие катодами, при прохождении тока, становятся анодами. Развитие коррозии от паразитного тока (вторичная коррозия) намного интенсивнее первичной коррозии, вызванной естественным образованием гальванического элемента в воде. Во-первых, борта лодки в зависимости от направления тока становятся попеременно анодом и катодом. Во-вторых, здесь могут возникать более высокие токи, которые ускоряют износ металла. Даже если ток протекал через судно во время непродолжительной стоянки и не мог причинить заметных повреждений, в обшивке образуются местные аноды, которые во время плавания становятся источниками развития первичной коррозии. Размещение анодов-протекторов в этом случае ничего не дает, так как вторичная коррозия имеет другую причину. Она поражает только наружные части судна. Яхту нельзя ставить вблизи мест, где

производится электрическая сварка. Если этого все-таки не избежать, то следует вывести на сушу и заземлить самый толстый электрический кабель и надежно соединить его с корпусом.

Определить силу коррозионных токов затруднительно, но можно измерить потенциал между электродом сравнения (медь — сульфат меди — измерительный фотоэлемент) и защищаемой поверхностью с помощью милливольтметра постоянного тока.

Защитить металл от коррозии можно, компенсируя коррозионный ток другим. Необходимый противоток поступает из дисковых анодов, изготовленных из платинированного титана, которые питаются от судовой аккумуляторной батареи. Их устанавливают заподлицо с наружной обшивкой. Критерием для такой катодной защиты служит потенциал между электролитом и защищаемой поверхностью. Электрод сравнения позволяет определить силу тока для катодной нагрузки на наружную обшивку. Например, если сталь в морской воде имеет потенциал 540 МВ по отношению к электроду сравнения, то достаточно снизить его до 310 МВ, чтобы защитить обшивку. Обычно регулирование компенсационного тока осуществляется автоматически специальным прибором, управляемым электродом сравнения.

*Коррозия от собственного тока.* Под собственным понимают ток, который создается на борту яхты. Он может поступать от батареи, осветительной установки или генераторного агрегата. При однополюсной системе проводки такой ток неизбежно протекает по обшивке. Иногда это непреднамеренно получается и при двухполюсной проводке — так называемая «утечка тока» или «дикие электрические цепи».

Металлическая наружная обшивка состоит из листов, которые сварены между собой. Наплавленный металл швов по сравнению с основным металлом обладает меньшей электрической проводимостью. Это значит, что между листами и швом возникает разность потенциалов, правда, незначительная, которая обусловливает образование анода и катода.

На алюминиевых корпусах повышение сопротивления в зависимости от состава сплава достигает 10%. При сварке металл нагревается, и при последующем относительно быстром охлаждении зернистая структура металла становится более мелкой. Это значит, что уменьшаются расстояния между атомами пространственных решеток металла. Электроны внешней электронной оболочки становятся плотнее связанными с атомным ядром, а так как проводимость металлов зависит от числа именно этих свободных электронов, то здесь кроется причина повышения сопротивления.

Дерево, пропитанное соленой водой, имеет более высокое электрическое сопротивление, чем металл, благодаря чему разность потенциалов с металлом крепежа и дельных вещей оказывается значительно больше, чем на сварном шве. В этом случае в морской воде также начинают действовать коррозионные процессы. При наличии токов утечки из бортовой сети свинцовый киль становится катодом, а стальные детали на корпусе — анодом. Самое простое средство воспрепятствовать коррозии от собственного тока — устройство сети переменного тока. Но для малых и средних яхт это слишком дорого. В любом случае бортовая сеть должна быть двухпроводной. Владельцам деревянных яхт следует обращать особенное внимание на безупречную проводку кабеля.

# ОГЛАВЛЕНИЕ


От автора . . . . . 5

ГЛАВА 1. РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА . . . . . 7

1.1. ВЫБОР МАТЕРИАЛА КОРПУСА И СПОСОБА ПОСТРОЙКИ . . 7
1.2. ПРОЕКТ . . . . . 8
1.2.1. Расчет массы и положения центра тяжести судна . . 10
1.2.2. Разработка теоретического чертежа и расчет водоизмещения . . . . . 10
1.2.3. Прочность и остойчивость . . . . . 12
1.2.4. Расчет остойчивости . . . . . 14
1.3. БУКСИРОВОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МОДЕЛИ И ОБВОДЫ ЯХТ 19
1.4. ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОСТРОЙКЕ . . . . . 22
1.5. РАБОЧИЕ ЧЕРТЕЖИ . . . . . 23
1.6. КРИТЕРИИ ПРОЕКТА . . . . . 30
1.6.1. Обводы шпангоутов . . . . . 30
1.6.2. Сопротивление судна, распределение водоизмещения 33
1.6.3. Обводы носа и кормы . . . . . 37
1.6.4. Размещение киля и руля . . . . . 42
1.6.5. Типы килей . . . . . 45
1.6.6. Остойчивость и непотопляемость . . . . . 49
1.6.7. «Выжиматели» формулы или разумная конструкция . . 56

ГЛАВА 2. ТИПОВЫЕ ПРОЕКТЫ ЯХТ . . . . . 62

2.1. ЕВРОПЕЙСКИЕ МОНОТИПЫ . . . . . 62
2.2. СЕРИЙНЫЕ ЯХТЫ И ЯХТЫ ЛЮБИТЕЛЬСКОЙ ПОСТРОЙКИ . . 64
2.3. СИСТЕМА «ЯРДСТИК» . . . . . 68
2.4. ПРИМЕРЫ ПРОЕКТОВ ЯХТ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТОРОВ . . 69
2.4.1. Ван де Штадт: «Спанкер» . . . . . 69
2.4.2. Бриттон Чейс младший: «Чейс-32/28» . . . . . 72
2.4.3. Ричард Картер: одиотоиник «Идра» . . . . . 76
2.4.4. Карл Фелтц: 10,5-метровая яхта с вооружением кэткеч . . . . . 80
2.4.5. Спаркмен и Стефенс: «Саудад» . . . . . 83
2.4.6. Мишель Дюфур: «Дюфур-31» . . . . . 85
2.4.7. Гари Мул: «Импробэйбл» . . . . . 87
2.4.8. Хорст Гласер: «Гласер-34» . . . . . 91
2.4.9. Хорст Штихнот: моторно-парусная яхта длиной 15,5 м 94
2.4.10. Курт Рейнке: «Гидра»/«Омега» . . . . . 94
2.5. ПЛАЗОВЫЕ РАБОТЫ . . . . . 101

ГЛАВА 3. ПОСТРОЙКА ДЕРЕВЯННЫХ ЯХТ . . . . . 104

3.1. КОНСТРУКЦИЯ И РАЗМЕРЫ СВЯЗЕЙ . . . . . 105
3.2. СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛЕ . . . . . 107
3.3. ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ . . . . . 113
3.4. СКЛЕИВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДЕТАЛЕЙ . . . . . 118
3.5. ОБШИВКА КОРПУСА И НАСТИЛ ПАЛУБЫ . . . . . 122
3.6. ПОСТРОЙКА СУДНА С ПОПЕРЕЧНЫМ НАБОРОМ . . . . . 129
3.6.1. Постройка яхт из древесных пиломатериалов . . . . 129
3.6.2. Постройка яхт из фанеры и пиломатериалов . . . . 132
3.6.3. Яхты с остроскулыми обводами из фанеры . . . . . 135
3.7. ПОСТРОЙКА СУДНА С ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ НАБОРА 135
3.7.1. Клинкерная обшивка из фанеры . . . . . 137
3.7.2. Постройка корпуса с диагональной обшивкой . . . . 139
3.8. КОРПУСА ИЗ ФОРМОВАННОЙ ФАНЕРЫ . . . . . 145
3.9. НАДСТРОЙКИ, ПЕРЕБОРКИ И ПРОЧИЕ ДЕТАЛИ КОРПУСА 149
3.10. КИЛЬ, РУЛЬ, ФУНДАМЕНТЫ . . . . . 151

ГЛАВА 4. ПОСТРОЙКА КОРПУСА ИЗ МЕТАЛЛА . . . . . 153

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ . . . . . 153
4.2. СВЕДЕНИЯ О МАТЕРИАЛАХ . . . . . 156
4.3. ОБРАБОТКА МЕТАЛЛА . . . . . 159
4.4. КЛЕПКА И СВАРКА . . . . . 166
4.5. ПОСТРОЙКА КОРПУСА С ПОПЕРЕЧНЫМ НАБОРОМ . . . . 175
4.5.1. Постройка корпуса килем вверх . . . . . 180
4.5.2. Серийная постройка . . . . . 181
4.6. ПОСТРОЙКА КОРПУСА С ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ НАБОРА 183
4.7. УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ ПОСТРОЙКИ . . . . . 185

ГЛАВА 5. ПОСТРОЙКА ЯХТ ИЗ АРМОЦЕМЕНТА . . . . . 208
5.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ . . . . . 212
5.2. ПОСТРОЙКА . . . . . 216

ГЛАВА 6. ПОСТРОЙКА ЯХТ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКА . . . 223

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ . . . . . 223
6.2. МАТЕРИАЛЫ . . . . . 224
6.3. МЕТОДЫ ПОСТРОЙКИ . . . . . 235
6.3.1. Оборудование . . . . . 237
6.3.2. Изготовление конструктивных деталей . . . . . 241

ГЛАВА 7. СУДОВЫЕ УСТРОЙСТВА, ОБОРУДОВАНИЕ, ОСНАСТКА . . . . . 255

7.1. РУЛЕВОЕ УСТРОЙСТВО . . . . . 255
7.2. ИЗОЛЯЦИЯ . . . . . 260
7.3. ВЕНТИЛЯЦИЯ . . . . . 262
7.4. ОБОРУДОВАНИЕ . . . . . 265
7.5. ИЛЛЮМИНАТОРЫ, ДВЕРИ, ЛЮКИ . . . . . 273
7.6. ДЕКОРАТИВНЫЕ И ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ . . . . . 279
7.7. ОБОРУДОВАНИЕ ПАЛУБЫ И ДЕЛЬНЫЕ ВЕЩИ . . . . . 286
7.8. РАНГОУТ, ТАКЕЛАЖ И ОБОРУДОВАНИЕ ПАЛУБЫ . . . . . 292
7.9. ПАРУСА . . . . . 303
7.9.1. Взятие рифов и постановка парусов . . . . . 306
7.9.2. Автоматический стаксель . . . . . 307
7.10. ПАРУСНОЕ ВООРУЖЕНИЕ ЯХТЫ . . . . . 310
7.11. ОБОРУДОВАНИЕ И ПЛАНИРОВКА ПАЛУБЫ . . . . . 322

ГЛАВА 8. УСТАНОВКА ДВИГАТЕЛЯ НА ФУНДАМЕНТ . . . 326

3.1. ЦЕНТРОВКА . . . . . 328
8.2. ПРОКЛАДКИ . . . . . 330

ГЛАВА 9. СИСТЕМЫ ЯХТЫ . . . . . 332

9.1. ФАНОВАЯ СИСТЕМА . . . . . 332
9.2. ОСУШИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА . . . . . 334

ГЛАВА 10. НАВИГАЦИОННЫЕ ПРИБОРЫ . . . . . 337

10.1. ЭХОЛОТ . . . . . 337
10.2. РАДИОПЕЛЕНГАТОРЫ . . . . . 340
10.3. НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ . . . . . 344
10.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ (ЛАГИ) . . . . . 349
10.5. МАГНИТНЫЙ КОМПАС . . . . . 351
10.6. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПАРУСНЫХ ЯХТ . . . . . 352

ГЛАВА 11. ЗАЩИТА ЯХТ ОТ МОЛНИИ И КОРРОЗИИ . . . . 355

11.1. ГРОЗОЗАЩИТА . . . . . 355
11.2. ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ . . . . . 357