Н. Г. СМИРНОВ

ТЕОРИЯ И УСТРОЙСТВО СУДНА

Утверждено
Центром учебных заведений
и кадровой политики концерна "Росрыбфлот"
в качестве учебника для речных училищ
и техникумов

МОСКВА "ТРАНСПОРТ" 1992

УДК 629.12.-523(075.3)

Смирнов Н. Т. Теория и устройство судна.— Учебник для речных училищ и техникумов. М.: Транспорт, 1992.— 248 с.

Даны понятия о навигационных и эксплуатационных качествах судна: плавучести, остойчивости, непотопляемости, качке, управлении судном. Изложены вопросы статики и динамики, управляемости и ходкости, прочности судна. Приведены конструктивные особенности металлических, железобетонных и композитных судов, судовых устройств и систем. Дано представление о проектировании и технологии постройки судов.

Учебник предназначен для учащихся речных училищ и техникумов, может быть использован специалистами речного транспорта в практической работе.

Ил. 139, табл. 11, библиогр. 15 назв.

Рецензенты А. Ф. Видяпин, В. А. Грудев

Заведующий редакцией Е. Д. Некрасова

Редактор И. В. Гнидая

Учебник

СМИРНОВ НИКОЛАЙ ТРИГОРЬЕВИЧ

ТЕОРИЯ И УСТРОЙСТВО СУДНА

Технический редактор Т. А. Богданова
Корректор-консультант В. Н. Кулешова
Корректор С. Л. Сержант

ИБ 4570

Сдано в набор 10.09.91. Подписано в печать 03.10.91
Формат 60×90/16. Бум. офсетная № 2. Гарнитура литературная. Офсетная печать.
Усл. печ. л. 15,19. Усл. кр.-отт. 15,43. Уч.-изд. л. 17,02. Тираж 4500 экз. Заказ 845.
Цена 3 руб. Изд. № 1-1-2/10 № 3625.
Ордена «Знак Почета» издательство «ТРАНСПОРТ». 103064, Москва, Басманный тун., 6а.

Московская тип. 4 Государственной ассоциации предприятий, организующей и объединяющей полиграфической промышленности «АСПОЛ».
129041, Москва, В. Переяславская ул., 46.

С 3206030000-002 / 049(01)-92 — 150-92

ISBN 5-277-01205-2

© Н. Т. Смирнов, 1992

ВВЕДЕНИЕ

Эффективность функционирования народного хозяйства в значительной степени связана с организованной и безопасной работой транспорта, в том числе речного, который играет значительную роль в обеспечении перевозок, особенно в районах Сибири, Дальнего Востока и Крайнего Севера. Важная роль принадлежит ему в доставке грузов и пассажиров по малым рекам. Для перевозок используют грузовые самоходные суда, буксиры-толкачи, несамоходные суда (баржи), пассажирские и туристские теплоходы, рейдовые и вспомогательные суда.

Развитие экономики требует совершенствования эксплуатационной деятельности, сокращения простоев судов, широкого применения прогрессивных форм организации труда. Этому способствуют улучшение мореходных и эксплуатационно-экономических характеристик судов, повышение их технической вооруженности.

Необходимую эффективность работы обусловливает научно-технический прогресс, основные направления которого заключаются в повышении мощности и грузоподъемности судов, автоматизации управления главной энергетической установкой, погрузкой и выгрузкой грузов и автосцепкой, эксплуатации флота без постоянной вахты в машинных отделениях, безопасности плавания благодаря применению современного радионавигационного оборудования. Дальнейшее развитие получат перевозки в большегрузных толкаемых составах на магистральных путях и в изгибаемых составах на малых реках. С этой целью увеличиваются темпы строительства сухогрузных и нефтеналивных барж, буксиров-толкачей с малыми осадками. Для вождения толкаемых составов по Ладожскому и Онежскому озерам и в прибрежном плавании создаются специальные автосцепные устройства.

Приоритетное развитие получат самоходные грузовые суда смешанного река — море плавания. В эксплуатации находится около 2 тыс. таких теплоходов, в том числе около 400 используются в заграничном плавании.

Постоянно повышается комфортабельность пассажирских судов благодаря применению новых отделочных материалов, современной мебели, оборудования и устройств.

Важнейшей общегосударственной задачей является охрана окружающей среды от производственной деятельности водного транспорта. Основными видами загрязнений при эксплуатации флота являются хозяйственно-бытовые и нефтесодержащие воды, сухой мусор и пищевые отходы. С целью предотвращения загрязнения водных бассейнов транспортный флот оборудуют системами сбора и накопления судовых загрязнений с последующей передачей их на утилизацию. С этой целью построены береговые специализированные причалы для приема с судов сточных вод и сухого мусора, плавучие станции очистки нефтесодержащих вод, а также суда-сборщики типа ОС, обеспечивающие сбор с транспортного флота всех видов загрязнений.

Крупные пассажирские и грузовые суда оборудуют также автономными судовыми природоохранными установками, серийно изготовляемыми на промышленных предприятиях концерна «Росречфлот», которые по своим техническим характеристикам отвечают требованиям контролирующих органов.

Еще одним видом загрязнения, вносимым в окружающую среду производственной деятельностью речного транспорта, являются аварийные разливы нефтепродуктов. С целью избежания разливов в последние годы корпуса танкеров и нефтеналивных барж делают с двойным дном и двойными бортами со встроенными балками и цилиндрическими оболочками. Все самоходные суда оборудованы системами закрытого приема топлива и масла, исключающими их утечку при заправке.

Безопасная и эффективная работа флота обеспечивается плавсоставом, имеющим глубокие знания различных качеств судна, их зависимости от формы, материала и конструкции корпуса, а также от распределения на нем грузов. Поэтому будущие специалисты речного транспорта должны хорошо разбираться в вопросах плавучести, остойчивости, непотопляемости и управляемости судов. Учащимся речных училищ и техникумов необходимо знать конструкции корпуса и надстроек, судовых устройств и систем, иметь представление об этапах и методах проектирования и строительства речных судов.

Все эти вопросы рассматриваются дисциплиной «Теория и устройство судов», основу которую, будущие специалисты водного транспорта смогут поддерживать технико-экономические качества судна на высоком уровне, постоянно повышать его техническое состояние, осуществлять грамотную эксплуатацию судовой техники.

Раздел первый

ОСНОВЫ ТЕОРИИ СУДНА

Глава I

ХАРАКТЕРИСТИКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЧНЫХ СУДОВ

1. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО СУДНА

Судном называют плавающее инженерное сооружение, предназначенное для перевозки грузов и пассажиров, а также выполнения других специальных задач. Судно состоит из корпуса, надстройки, энергетической установки, судовых движителей, устройств, систем и радионавигационного оборудования.

Корпус судна образует тонкая водонепроницаемая оболочка — обшивка, подкрепленная продольными и поперечными балками набора. Нижнюю часть корпуса называют *днищем*, боковые стенки — *бортами*, верхнюю часть — *палубой* (рис. 1).

С помощью вертикальных поперечных и продольных водонепроницаемых переборок корпус разделен на отсеки, что обеспечивает непотопляемость судна и выделение помещений различного назначения. Поперечными водонепроницаемыми переборками выделяют машинное отделение, носовой отсек — *форпик* и кормовой отсек — *ахтерпик*, а также грузовые трюмы и отсеки для пассажирских кают. Продольные водонепроницаемые переборки ставят только на судах, перевозящих нефтепродукты или другие жидкие грузы. Между отсеками с топливом и жилыми помещениями устраивают небольшие порожние отсеки—*коффердамы*, которые, как правило, оборудуют вытяжной вентиляцией.

Для предотвращения заливания оконечностей судна при ходе во время волнения палубу и борта над форпиком и ахтерпиком приподнимают над уровнем главной палубы. Такие водонепроницаемые возвышения над форпиком называют *баком* и над ахтерпиком — *юртом*.

В палубе имеются круглые или прямоугольные отверстия—*люки*—для доступа в отсеки судна. Их размеры зависят от назначения отсеков. По всему периметру люки подкрепляют вертикальными балками — *комингсами*.

Большинство грузовых судов имеют водонепроницаемое внутреннее дно от форпика до машинного отделения. Это обеспечивает непо-

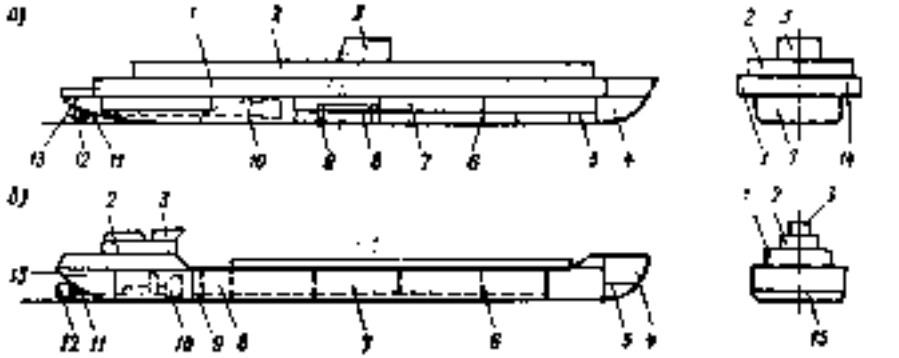


Рис. 1. Общее устройство пассажирского (а) и грузового (б) судов:

1, 2 — надстройки I и II ярусов; 3 — рулевая рубка; 4 — форпик; 5 — платформа; 6 — поперечные водонепроницаемые переборки; 7 — трюм; 8 — шестерня; 9 — кофердамы; 10 — главный двигатель; 11 — гребные винты; 12 — руль; 13 — ахтерпик; 14 — обводы; 15 — второе дно

топливность и защищает водную акваторию от загрязнения при повреждении обшивки корпуса, а также облегчает зачистку трюмов от остатков груза. Второе дно отстоит от обшивки основного днища на 800—1200 мм. Многие из судов имеют также внутренние водонепроницаемые борта. Межбортовые пространства обычно используют для принятия балласта (забортной воды) при движении судна порожнем.

Надстройку на судне сооружают в один или несколько ярусов и используют для размещения жилых, бытовых и служебных помещений. Жилые и бытовые помещения — это каюты пассажиров и экипажа, рестораны, кают-компании, красные уголки, хозяйственные и санитарно-гигиенические помещения. К служебным помещениям относят ходовую рубку, радиорубку, пункт проката, судовую контору.

Судовая энергетическая установка (СЭУ) — главные двигатели, обеспечивающие движение судна, и вспомогательные двигатели, работающие на генераторы и снабжающие электроэнергией механизмы, устройства и аппараты различного назначения. В качестве главных двигателей на речных судах используют двигатели внутреннего сгорания (ДВС).

Движители преобразуют энергию главных двигателей в полезную тягу, под действием которой осуществляется движение. В качестве судовых движителей применяют гребные винты, гребные колеса, водометные и крыльчатые движители.

Судовые устройства (рулевое, швартовное, якорное, буксирное, спасательное, грузовое) обеспечивают нормальную эксплуатацию судна. Они имеют электрический, гидравлический или ручной приводы.

Судовые системы (водоснабжения, отопления, сточно-фановая, вентиляции, холодильная, кондиционирования воздуха) служат для создания пассажирам и членам экипажа нормальных условий пребывания на судне, а пожарная, осушительная, балластная — для безопасной работы судна.

Радионавигационное оборудование (радиолокаторы, эхолоты, компасы, радиостанции, телефонные станции, пульты управления) обеспечивает требуемые условия судовождения, а также условия внешней и внутренней связи.

2. КРАТКИЙ ИСТОРИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ СУДНА

Начало изучению теории судна положил закон о действии давления воды на погруженное в нее тело, открытый знаменитым греческим ученым Архимедом более 2200 лет назад. Однако практическое применение этот закон получил только в XVII в., когда парусные суда уже достигли высокой степени совершенства. В эти годы математические методы проектирования позволяли рассчитывать осадку судна до начала его строительства.

В трудах французского академика П. Бугера «Трактаты о корабле, его конструкции и его движении» (1746 г.) и члена Петербургской Академии наук Л. Эйлера «Корабельная наука» (1749 г.) была разработана теория основных мореходных качеств судна, прежде всего плавучести и поперечной остойчивости. Л. Эйлер впервые составил уравнение остойчивости, связывающее ширину, осадку и коэффициенты полноты судна с его начальной остойчивостью, которое не потеряло своего значения до настоящего времени.

Теория судна стала особенно интенсивно развиваться с появлением пароходов и расширением металлического судостроения. Были разработаны разделы ходкости, качки и остойчивости судна. Английский ученый В. Фруд применил методы определения сопротивления воды движению судна путем испытания моделей в опытовом бассейне. Это позволило проектировать эффективные обводы корпуса судна для получения максимальной скорости при заданной мощности главных двигателей.

Первый опытовый бассейн в России был построен в конце 90-х годов прошлого столетия по инициативе Д. И. Менделеева. Благодаря трудам русских и советских ученых Н. Е. Жуковского, М. В. Келдыша, Г. Е. Павленко, Я. И. Войткунского была усовершенствована методика проведения испытания моделей водоизмещающих судов, а также исследованы вопросы ходкости при проектировании судов на подводных крыльях и воздушной подушке. Речной флот располагает тремя опы-

товыми бассейнами при институтах водного транспорта в Ленинграде, Горьком и Новосибирске.

Принципы обеспечения непотопляемости и живучести судов разработаны адмиралом С. О. Макаровым и академиком А. Н. Крыловым. А. Н. Крылов создал также классическую теорию качки судна на волнении, которая получила широкое мировое признание. Работы по исследованию качки судов продолжили советские ученые М. Д. Хаскинд, Г. А. Фирсов, А. М. Басин, В. Н. Анфимов и другие.

Ходовые качества судов во многом зависят от конструкций гребных винтов, которые являются в настоящее время основным типом движителей на речном флоте. Основой для их расчетов служит вихревая теория гребного винта, созданная отцом русской авиации Н. Е. Жуковским. Его работы продолжили В. П. Ветчинкин, Г. Х. Сабинин и Б. Н. Юрьев.

Для безопасности плавания большое значение имеет раздел теории судна – управляемость. Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования управляемости провели советские ученые К. К. Федяевский, В. М. Лаврентьев, В. Г. Павленко.

В конце прошлого века русский подданный Ш. де Ламбер предложил поднять корпус судна и оставить в воде только крылья, гребной винт и руль. Идея была заманчивой, перспективной и вызвала широкий интерес во многих странах. Проектированием судов на подводных крыльях занимались итальянский инженер Э. Форланини, американский ученый Г. Белл, немецкий инженер Г. фон Шаритель. Теоретические основы работы подводных крыльев были заложены в трудах советских академиков Н. Е. Кочина, М. В. Келдыша и В. М. Лаврентьева. Создать же эффективное скоростное судно на подводных крыльях удалось советским инженерам и рабочим специального конструкторского бюро по судам на подводных крыльях под руководством известного ученого и конструктора Р. Е. Алексеева. Сейчас на реках и озерах страны эксплуатируются сотни теплоходов типов «Комета», «Метеор», «Ракета», «Восход», «Полесье» и создаются новые суда на подводных крыльях.

Большой вклад в теоретические разработки, проектирование и строительство двухкорпусных судов типа катамаран внес профессор Горьковского института инженеров водного транспорта М. Я. Алферьев.

Современная теория судна имеет два раздела. Первый раздел, посвященный плавучести, остойчивости и непотопляемости, называется *статикой судна*. Наиболее важная задача этого раздела — изучение равновесия судна, неподвижного относительно спокойной воды. Она сравнительно легко решается при помощи методов теоретической механики и гидростатики.

Во втором разделе теории судна, включающем управляемость, ходкость и качку, изучается движение судна под действием приложенных к нему внешних сил и моментов. Этот раздел называется *динамикой судна*.

3. НАВИГАЦИОННЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА СУДНА

Каждое судно характеризуется *навигационными (мореходными)* и *эксплуатационно-экономическими качествами*.

К навигационным качествам судна относят:

плавучесть — способность судна плавать в требуемом положении относительно поверхности воды при заданной нагрузке;

остойчивость — способность судна, наклоненного внешними силами, возвращаться в исходное положение равновесия после прекращения их действия;

непотопляемость — способность судна оставаться на плаву и сохранять необходимую остойчивость после затопления одного или нескольких отсеков корпуса;

ходкость — способность судна развивать заданную скорость в определенных путевых условиях при затрате минимально необходимой мощности энергетической установки;

управляемость — способность судна сохранять заданное направление движения или изменять его в соответствии с желанием судоводителя;

плавность качки — способность судна при плавании на взволнованной воде раскачиваться с возможно меньшей частотой и амплитудой;

прочность — способность корпуса судна не разрушаться и не изменять своей формы под действием внешних сил, появляющихся при эксплуатации.

К эксплуатационно-экономическим качествам судна относят следующие.

Грузоподъемность — масса груза, принимаемого на борт судна при заданной высоте надводного борта. Различают *дедвейт* — предельную грузоподъемность судна, при которой его осадка соответствует установленной грузовой марке, и *чистую грузоподъемность* — предельную массу груза, которую может принять судно, погруженное по грузовую марку, при необходимом запасе топлива, питьевой воды, продовольствия и наличия на борту полного экипажа.

Грузовместимость — объем помещений (трюмов) судна, предназначенных для размещения груза. *Валовая вместимость* — объем помещений судна, определяемый по специальным Правилам обмера и служащий для расчета сбора в портах. При этом учитывается объем всех помещений под верхней палубой, в надстройках и рубках, за исключением междудонного пространства, топливных и балластных цистерн. *Чистая вместимость* учитывает объем только коммерчески эксплуатируемых помещений. Валовая и чистая вместимости измеряются в регистровых тоннах, являющихся единицами объема: 1 рег. т = 2,83 м³ (100 фут³).

Пассажировместимость — число пассажирских мест всех категорий, имеющихся на судне.

Скорость хода — быстрота передвижения судна. Для речных судов скорость выражается в километрах в час, а для морских — в узлах; 1 уз = 1 миля/ч = 1,852 км/ч.

Дальность плавания — расстояние, которое может пройти судно при заданной скорости без пополнения запасов топлива, продовольствия и питьевой воды.

Автономность плавания — время работы судна без пополнения запасов топлива, питьевой воды и продовольствия.

Обитаемость — комплексная характеристика, показывающая степень приспособленности судна к жизнедеятельности пассажиров и экипажа в условиях плавания. К нормируемым факторам обитаемости относят размеры и освещенность помещений, уровень шума и вибрации, влажность и температуру воздуха в каютах.

Строительная стоимость — затраты средств на сооружение судна. Она зависит от стоимости применяемых материалов, оборудования и приборов, уровня технической оснащенности и организации производства судостроительного завода.

Эксплуатационные расходы на содержание — затраты, связанные с эксплуатацией судна: расходы на заработную плату экипажа, ремонт, стоимость израсходованного топлива и масла, амортизационные отчисления.

4. КЛАССИФИКАЦИЯ РЕЧНЫХ СУДОВ

Суда классифицируют по нескольким основным признакам: принципу поддержания на воде, назначению, району плавания, материалу и форме корпуса, характеру движения, типу главного двигателя, роду движителя, архитектурному типу и др.

По принципу поддержания на воде различают суда на воздушной подушке, на подводных крыльях, глиссирующие и водоизмещающие.

Суда на воздушной подушке (СВП) различают *скегового* типа, у которых воздушная подушка ограничена с боков жесткими погруженными в воду скегами, являющимися продолжением бортов, и *амфибийного* типа, где гибкое ограждение воздушной подушки выполнено по всему периметру корпуса. Поддержание над водой СВП обоих типов осуществляется воздушной подушкой низкого давления. Судно может двигаться в нужном направлении, используя движители авиационного типа или водометные.

Суда на подводных крыльях (СПК) имеют гидродинамический принцип поддержания на воде. Гидродинамические силы поддержания возникают при относительно быстром движении в воде подводных крыльев.

Глиссирующие суда имеют плоское днище с незначительной килеватостью, которое создает при относительно быстром движении силу гидродинамического давления. Их строят небольших размеров, так как

для движения в режиме глиссирования требуется весьма значительная удельная мощность двигателя.

Водоизмещающие суда, имеющие гидростатический принцип поддержания, наиболее распространены. Среди них следует выделить двухкорпусные суда — катамараны и суда с воздушной каверной на днище.

По характеру движения суда подразделяют на *самоходные*, имеющие энергетическую установку, *несамоходные*, перемещаемые при помощи буксиров-толкачей, и *стоечные*, которые по условиям работы стоят на месте (дебаркадеры, плавучие перегружатели и др.).

По назначению суда внутреннего плавания подразделяют на транспортные, технические, вспомогательные и спортивные.

Транспортные суда, составляющие основное ядро речного флота, предназначены для перевозки пассажиров и грузов. Их подразделяют на пассажирские, грузопассажирские, грузовые, толкачи и буксиры.

Грузовые суда разделяют на сухогрузные и наливные. Сухогрузные суда используют для перевозки леса, штучных или сыпучих грузов. Эксплуатируются также специализированные сухогрузные суда: автомобилевозы, цементовозы, рудовозы, рефрижераторы и др. Для перевозки жидких грузов наливом применяют танкеры, водовозы, молоковозы и др.

Самоходные суда, предназначенные для вождения барж методом толкания, называют *толкачами*, а на буксирном канате — *буксирами*. Большинство из них приспособлены как для толкания, так и для вождения барж на буксирном канате. Такие суда называют *буксирами-толкачами*.

Суда технического флота (землесосные и землечерпательные снаряды, грунтовозные шаланды) используют для обеспечения требуемых путевых условий. Земснаряды широко используют для добычи и обработки песчано-гравийных смесей.

Суда, обслуживающие транспортный флот, называют *вспомогательными* — ледоколы, плавучие магазины, пожарные, рейдовые суда и т. п.

По району плавания суда подразделяют на суда *внутреннего плавания*, *смешанного реки — море плавания* и *морские*.

По типу главных двигателей различают *теплоходы*, имеющие двигатель внутреннего сгорания, *пароводы* — паровую машину, *турбоходы* — паровую или газовую турбину, *атомоходы* — атомный реактор, *дизель-электроходы*, у которых гребной вал приводится во вращение от электродвигателя. На речном флоте атомо- и турбоходы не применяются.

По роду движителя суда подразделяют на *винтовые*, *колесные*, *водометные*, *с крыльчатыми движителями*, *с воздушными винтами* (СВП), *парусные*.

По типу материала, используемого при изготовлении корпуса, суда различают *с металлическим, пластмассовым, деревянным и железобетонным корпусами*. Последний применяют на стоечном флоте — доборкадерах, брандвахтах, доках, плавмастерских.

5. ТИПЫ РЕЧНЫХ СУДОВ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В РАЗВИТИИ СУДОСТРОЕНИЯ

За последние годы речной флот пополнился современными пассажирскими и грузовыми судами. Основу рабочего ядра грузового флота составляют секционные составы, мощные толкачи, крупнотоннажные самоходные суда.

Электрификация судовых вспомогательных механизмов, оборудование судов дистанционными и автоматизированными системами управления и контроля, широкое применение автоматических сцепных устройств для толкачей и составов способствовали значительному повышению производительности труда на флоте и одновременно улучшили условия труда и быта плавсостава.

Современные пассажирские и грузовые суда строят крупными сериями. Характеристики основных типов судов внутреннего плавания приведены в приложении.

Пассажирские суда, построенные в последние годы, имеют повышенную комфортабельность и предназначены для перевозки туристов и пассажиров. Около 30 лет работает на туристских линиях дизель-электроход «Советский Союз». Это трехпалубное судно отечественной постройки с трехъярусной надстройкой, в которой расположены одно- и двухместные пассажирские каюты, рестораны и салоны. Пассажирские и служебные помещения оборудованы системой кондиционирования воздуха. Три главных двигателя судна работают на генераторы. Гребные винты приводятся во вращение электродвигателями. Носовое и кормовое подруливающие устройства обеспечивают судну хорошую маневренность.

Советские и иностранные туристы проявляют большой интерес к поездкам на теплоходах типов «Дмитрий Фурманов» (см. рисунок на форзаце [1]), «Максим Горький», «Владимир Ильич», «Валерьян Куйбышев» и «Сергей Есенин». Эти суда имеют четырехъярусную надстройку, в которой размещены одно- и двухместные пассажирские каюты со всеми удобствами. На судах установлены современные системы водоподготовки, кондиционирования воздуха, биочистки и обеззараживания судовых сточных вод и сжигания сухих отходов. Совершенное навигационное оборудование обеспечивает безопасное плавание судов.

Для перевозки деловых пассажиров применяют пассажирские суда на подводных крыльях типов «Комета», «Метеор», «Ракета», «Восход» (см. рисунок на форзаце).

[1] Форзац — лист бумаги, служащий для соединения блока с переплетной крышкой.

На пригородных и местных линиях используют водоизмещающие теплоходы типов «Московский», «Москва», «Нева», СВП скегового типа «Луч» и «Баргузин» (см. рисунок на форзаце).

Сухогрузные суда, как правило, имеют в большей части корпуса грузовые трюмы. Надстройка и машинное отделение расположены в корме. Для удобства перегрузочных работ применяют конструкцию корпуса с двойным дном и двойными бортами с гладкими стенками и большими грузовыми люками. Для грузов, боящихся влаги, имеются механически открывающиеся и закрывающиеся люковые закрытия. В качестве движителей на большинстве грузовых судов устанавливают гребные винты в направляющих насадках.

Крупнейшими в мире речными сухогрузными судами являются составные теплоходы типа «Волжский-1» грузоподъемностью 10 тыс. т. Для перевозки зерна, соли, угля и других грузов широко используют грузовые теплоходы типов «Волго-Дон» (грузоподъемностью 5000 т), «Калининград» (2000 т), «Окский» (1800 т), для перевозки грузов по малым рекам — сухогрузные составные теплоходы с нагибающим устройством (см. рисунок на форзаце).

В последнее время широко распространены грузовые суда, осуществляющие прямые беспересадочные перевозки грузов из речных портов в морские и обратно. Это суда смешанного река — море плавания типов «Волга», «Амур», «Сормовский», «Балтийский», «Морской», «Волго-Балт», «Ладога». Они имеют высокие мореходные качества, оборудованы автоматизированными системами управления судовыми установками, радионавигационным оборудованием, позволяющим эксплуатировать их в море.

Научно-производственное объединение «Судостроение» проектирует лихтеровоз грузоподъемностью 3000—4000 т класса М-СП для перевозки лихтеров, а также крупногабаритных грузов между устьями рек Арктического бассейна.

Танкеры, предназначенные для перевозки нефтепродуктов, строят двух типов: с грузовыми отсеками (танками) и со вставными цилиндрическими цистернами. Танкеры первого типа имеют двойное дно и двойные борта. Это облегчает зачистку танков и исключает утечку нефтепродуктов при повреждении днища, что очень важно для охраны окружающей среды.

Наиболее крупными являются танкеры типа «Волгонефть» грузоподъемностью 5000 т с надстройкой в корме и переходным мостиком над палубой в диаметральной плоскости (ДП). На этих теплоходах установлены мощные грузовые насосы для погрузки и выгрузки нефтепродуктов и специальная система для подогрева вязких нефтепродуктов.

Успешно используются нефтерудовозы (см. рисунок на форзаце) высокоэффективные суда, имеющие танки для перевозки нефтепродуктов и грузовой трюм для руды. На реках Сибири используют танкеры типа «Ленанефть» грузоподъемностью 2000 т при небольшой

осадке. С вставными емкостями преимущественно строят танкеры грузоподъемностью 100—600 т.

Толкачи и буксиры имеют мощные энергетические установки, высоко расположенные рулевые рубки и оборудованы носовыми упорами и сцепными устройствами для толкания, а также буксирной лебедкой для буксировки барж. В качестве движительно-рулевого комплекса на толкачах в основном используют гребные винты в поворотных насадках с раздельным управлением.

В речных бассейнах наиболее часто применяют толкачи типов ОТ-2401 мощностью 1766 кВт (см. рисунок на форзаце) и ОТ-2001 мощностью 1472 кВт (четырехпалубные суда с выдвинутой вперед рубкой) для толкания типовых секционных составов грузоподъемностью 15—18 тыс. т.

Самым мощным буксиром-толкачом является теплоход «Маршал Тухачевский», энергетическая установка которого суммарной мощностью 2945 кВт состоит из главных двигателей с гидропреобразователями переднего и заднего хода, гидромуфтой и одноступенчатым зубчатым редуктором.

Ледоколы используют для принудительного вскрытия рек и водохранилищ в ранний весенний период, проводки судов во льдах, а также буксировки составов в летний период. Продление навигации на внутренних водных путях обеспечивают ледоколы типов «Капитан Чечкин» и «Капитан Мошкин». Первые работают на водных путях европейской части СССР, и при мощности главных двигателей 3300 кВт их скорость движения во льдах толщиной 70 см составляет около 3 км/ч. Ледоколы типа «Капитан Мошкин» (см. рисунок на форзаце) имеют меньшую осадку и используются на реках Сибири. Для повышения эффективности работы в битом льду со снегом ледоколы оборудованы системой пневматического обдува, которая служит также в качестве подруливающего устройства.

Ледокольные работы на реках выполняют также ледоколы типа «Волга» и буксиры-толкачи с ледокольными приставками.

Паромы предназначены для перевозки автомобилей и пассажиров и обслуживания переправ. По конструкции это суда-площадки со специальными мостами — аппарелями, которые опускают на берег при погрузке и выгрузке автомобилей и другой техники. Пассажиры на пароме размещаются в надстройке.

Несамоходные сухогрузные суда имеют грузоподъемность 200—4500 т. Как бункерные баржи, так и баржи-площадки широко применяют для перевозки угля, щебня, гравия, песка, руды и многих других грузов. Грузоподъемность нефтеналивных барж достигает 9200 т.

Большие перспективы строительства несамоходного флота открываются после завершения испытаний сцепных замков к толкаемым составам для Ладожского и Онежского озер. Разрабатывается проект сухогрузно-наливной баржи грузоподъемностью 4500 т класса М, с помощью

которой можно будет транспортировать в одном направлении нефтепродукты, а в обратном — сухие грузы.

Земснасовые снаряды (см. рисунок на форзаце) предназначены для разработки песчаных и гравийно-глинистых грунтов при дноуглублении и добыче песчано-гравийных смесей. Корпус земснаряда в носовой части имеет прорезь для размещения рамы всасывающей трубы. В соответствии с назначением всасывающее устройство земснаряда оснащено грузоподъемниками, рыхлителями грунтов и устройствами для перемещения на судоходной прорезь во время дноуглубительных работ. Земснасосные снаряды для внутренних водных путей строят производительностью 150—2500 м³/ч, для отвода пульпы имеются плавучие грунтопроводы длиной 120—650 м.

Многочерпаковые снаряды используют для выполнения дноуглубительных работ в глинистых, гравелистых и каменистых грунтах. В носовой части снаряда имеется прорезь для размещения черпаковой рамы. Отвод грунта, извлекаемого снарядом к месту его отвала, осуществляют с помощью самоходных и несамоходных шаланд; последние перемещаются буксирами или толкачами. Многочерпаковые снаряды имеют производительность 50—550 м³/ч и максимальную глубину черпания грунта 12 м.

6. ТЕХНИЧЕСКИЙ НАДЗОР ЗА СУДАМИ

Надзор за техническим состоянием судов и установление разрядов районов плавания в СССР осуществляют Регистр СССР и Речной Регистр РСФСР. Речной Регистр РСФСР является органом государственного технического надзора за судами речного флота, эксплуатирующимися на внутренних водных путях и выходящими в морские прибрежные районы.

Регистр с учетом условий плавания в различных бассейнах устанавливает их разряд, разрабатывает правила классификации и другие нормативные материалы для проектирования, постройки и эксплуатации судов.

Техническому надзору Речного Регистра подлежат самоходные суда с главными двигателями мощностью 37 кВт и более, несамоходные суда валовой вместимостью 285 м³ и более, суда специального назначения (дноуглубительные снаряды, дебаркадеры, плавучие доки и т.п.) длиной 20 м и более. Суда проходят периодические освидетельствования Регистра с установлением оценок их технического состояния.

Бассейны, в которых эксплуатируются речные суда, разделяют на три категории: внутренние водные бассейны, устьевые участки с морским режимом судоходства и морские районы плавания. Правилами Речного Регистра РСФСР все бассейны исходя из вышеназванных категорий отнесены к определенным разрядам: Л, Р, О, М. На каждом

Таблица 1

Характеристика	Класс судна				
	М-СП (лед)	М (лед)	О (лед)	Р (лед)	Л (лед)
Высота волны, м	3,5	3,0	2,0	1,2	0,6
Сплоченность льда, баллы	6	6	5	4	3
Толщина льда, м	0,4	0,3	0,2	0,1	0,05

судне должна быть выписка из этих правил с перечнем разрешенных районов плавания для данного судна.

Кроме Речного Регистра РСФСР, за судами внутреннего плавания ведут специальный надзор: санитарная инспекция Министерства здравоохранения РСФСР — за санитарным состоянием, органы военизированной охраны водного транспорта (ВОХР) — за противопожарным состоянием, инспекция Госкомприроды — за охраной окружающей среды, технические инспекторы профсоюзов — за соблюдением правил безопасности труда, органы судоходной инспекции — за выполнением правил плавания.

Соблюдение нормативных требований Речного Регистра и других контролирующих организаций в процессе проектирования, постройки и эксплуатации судов является обязательным. Речной Регистр может присвоить класс судну, построенному под его надзором, а также восстановить класс судну после его ремонта или модернизации.

Формулу класса записывают в книгу судовых документов. Основным символом, определяющим класс судна по Речному Регистру, является буквенное обозначение Л, Р, О, М и перед ними условный знак Регистра ★. Для судов смешанного реки — море плавания таким символом является сочетание букв М-СП.

У судов, имеющих специальное подкрепление для плавания в битом льду, после символа класса в скобках ставится слово «лед», а для ледоколов — «ледокол». Например: ★ О (лед).

Значения высоты волн, сплоченности и толщины льда для судов различных классов приведены в табл. 1.

Сплоченность льда в баллах характеризует площадь акватории, занятой плавающим льдом, к общей ее площади (3 балла — 30 %, 4 — 40 %, 5 — 50 %, 6 баллов — 60 %).

Для судов внутреннего плавания, построенных с учетом возможности плавания в прибрежных морских районах, установлен знак ПР, который ставится после основного символа. Например: О-ПР.

Если отдельные элементы или судно в целом не соответствуют Правилам Речного Регистра, то судну на время изучения новых элементов устанавливается экспериментальный класс, который обозначается символом «Э» и ставится впереди знака ★. Например, Э★Р. При удов-

летворительных результатах испытаний экспериментальный класс снимается.

Судам, оборудованным средствами комплексной автоматизации, в соответствии с требованиями Речного Регистра добавляется к символу буква А, которая ставится в конце формулы. Например: ★О-ПР (лед)А.

В соответствии с Межведомственным протоколом разрешена эксплуатация в море самоходных грузовых судов, имеющих класс Речного Регистра РСФСР при следующих ограничениях высоты волны 3%-ной обеспеченности (не более): класс М-СП — 3,5 м; М-ПР — 2,5 м; О-ПР — 2 м.

При этом устанавливаются конкретные морские районы и сезоны эксплуатации. Сезон эксплуатации может быть продлен на 10 сут при представлении судовладельцем благоприятного долгосрочного прогноза по высоте волн в данном районе моря.

Ряду проектов судов смешанного река — море плавания разрешена работа в морских районах, поднадзорных Регистру СССР, который и выдает на такие суда классификационное свидетельство. Класс судна обозначается символом КМ★ (где К — корпус, М — механизмы, ★ — условный знак Регистра СССР). При условии плавания в битом льду к основной формуле добавляется знак Л и цифра, указывающая толщину льда (3—30 см, 4—40 см). Например, формула класса Регистра СССР теплохода «Ладога» — КМ ★ Л4 СП — обозначает, что это — судно смешанного плавания, которому разрешена работа на внутренних водных путях, а также в морских районах на волнении не более 6 баллов с удалением от порта-убежища в открытых морях до 50 миль, в закрытых до 100 миль, а также в битом льду толщиной до 40 см.

Если судно предназначено для плавания без ограничения в закрытых морях, а также в открытых морях с удалением от места убежища до 200 миль, то в формуле применяется символ 1. Например: КМ★1А2 (где А2 - символ системы автоматизации, позволяющий эксплуатировать судно без постоянной вахты в машинном отделении). Для судов неограниченного района плавания знак района плавания к символу не добавляется.

Регистр СССР класс судну присваивает на четыре года. По истечении этого срока судовладелец должен предъявить судно к очередному освидетельствованию.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется судном?
2. Какую роль играют поперечные и продольные переборки корпуса судна?
3. Какова роль русских и советских ученых в развитии теории судна?
4. Назовите важнейшие мореходные качества судна.
5. В чем состоит принципиальное различие между судами на воздушной подушке и на подводных крыльях?
6. Какие требования предъявляют к пассажирским туристическим судам?
7. По каким признакам классифицируют речные суда?

Глава II

ГЕОМЕТРИЯ КОРПУСА СУДНА

7. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЧЕРТЕЖ КОРПУСА

Поверхность корпуса судна имеет сложную форму, точное представление о его конфигурации может дать только теоретический чертеж — графическое изображение теоретической поверхности корпуса в проекциях на три взаимно перпендикулярные координатные плоскости. Для всех судов, кроме деревянных, железобетонных и многослойных пластмассовых, на теоретическом чертеже принято изображать поверхность корпуса без учета толщины наружной обшивки.

За базовые координатные плоскости принимают:

диаметральную плоскость — вертикально-продольную плоскость, проходящую вдоль всего судна посередине его ширины и разделяющую судно на две симметричные части (рис. 2);

основную плоскость (ОП) — горизонтальную плоскость проходящую через самую нижнюю точку теоретической поверхности корпуса;

плоскость мидель-шпангоута — вертикально-поперечную плоскость, проходящую по середине расчетной длины корпуса.

Плоскость грузовой (конструктивной) ватерлинии (ГВЛ, КВЛ) горизонтальная плоскость, параллельная основной плоскости и совпадающая с поверхностью тихой воды при осадке судна с полным грузом.

Для изображения корпуса судна на теоретическом чертеже вычерчивают совокупность сечений его поверхности рядом плоскостей, параллельных указанным трем базовым плоскостям проекций. Кривые линии, полученные при пересечении поверхности корпуса плоскостями, параллельными ДП, называют *батоксами*, параллельными ОП — *ватерлиниями*, параллельными плоскости мидель-шпангоута — *шпангоутами*.

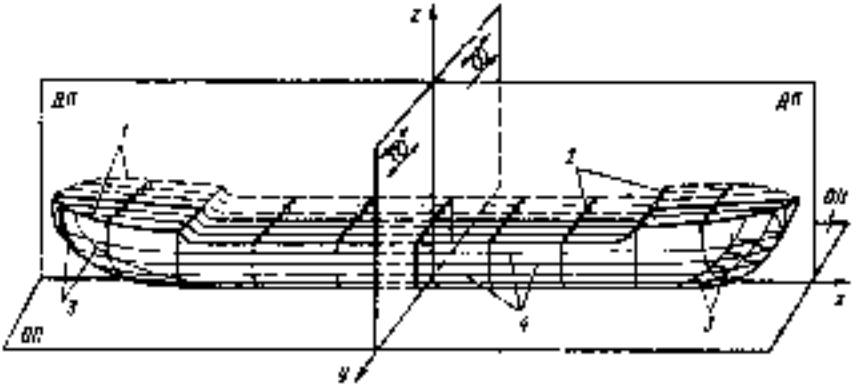


Рис. 2. Сечение корпуса судна главными и вспомогательными плоскостями:
1 — бортовая линия; *2* — шпангоуты; *3* — батоксы; *4* — ватерлинии

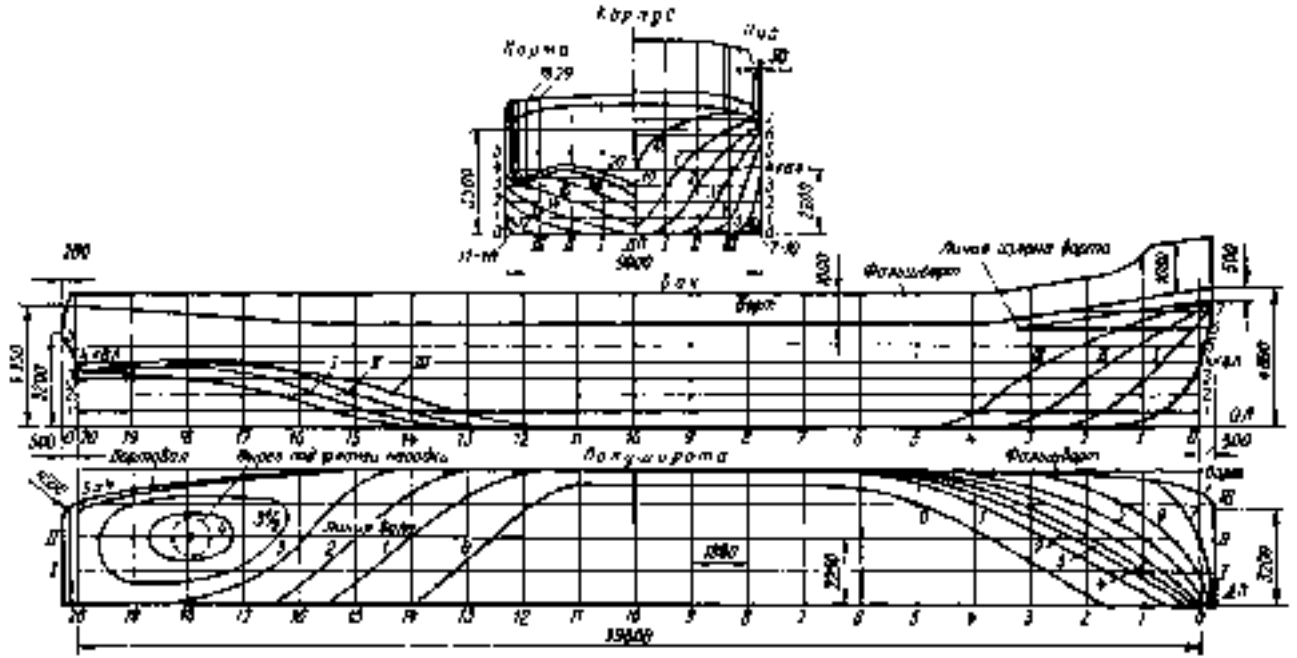


Рис. 5. Теоретический чертеж корпуса судна

Совокупность проекций всех линий на ДП — это *бок*, на ОП *полуширота*, на плоскость мидель-шпангоута — *корпус* (рис. 3).

Проекции батоксов на теоретическом чертеже обозначают римскими цифрами, а шпангоутов и ватерлиний — арабскими.

Вследствие симметрии корпуса судна относительно ДП на проекции «Полуширота» вычерчивают только половины ватерлиний, а на проекции «Корпус» — половины шпангоутов. При этом половины носовых шпангоутов изображают справа, а кормовых — слева от следа ДП. Носовую часть судна на проекциях «Полуширота» и «Бок» в отечественной практике принято изображать справа.

Поскольку плоскости проекций взаимно перпендикулярны, то на каждой из трех проекций две серии линий проектируются прямыми, образуя сетку теоретического чертежа. На проекции «Бок» сетку образуют шпангоуты и ватерлинии, на проекции «Полуширота» — шпангоуты и батоксы, на проекции «Корпус» — ватерлинии и батоксы. Без искажения на проекции «Бок» изображаются батоксы, на проекции «Полуширота» — ватерлинии, на проекции «Корпус» — шпангоуты.

Основными параметрами сетки теоретического чертежа являются главные расчетные размерения корпуса судна: длина L, ширина B, высота борта H и осадка T.

При построении теоретического чертежа длину корпуса судна обычно разбивают на 20 равных частей. Таким образом на проекции «Корпус» изображается 21 теоретический шпангоут. Расстояние между соседними шпангоутами называют *теоретической шпацией*. Ее длина $\Delta L = L/20$.

Осадку судна делят обычно на четыре части, т. е. принимают пять ватерлиний (ВЛ). При этом расстояние между ватерлиниями $\Delta T = T/4$. При большой осадке судна и сложных очертаниях корпуса число ватерлиний может быть доведено до десяти.

Число батоксов берется обычно не менее двух от ДП в сторону каждого борта. В этом случае расстояние между батоксами равняется $B/6$.

При разработке конструктивных чертежей для постройки судна выполняют базовый теоретический чертеж корпуса в масштабах 1:100, 1:50, 1:20 и 1:10 в зависимости от размеров судов.

8. ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛНОТЫ КОРПУСА

Главными размерениями судна называют размеры корпуса, измеряемые параллельно главным плоскостям проекций (рис. 4), — длина L, ширина B, осадка T, высота борта H.

Различают четыре вида главных размерений корпуса: конструктивные, расчетные, наибольшие и габаритные.

Длина по конструктивной ватерлинии L измеряется в плоскости конструктивной ватерлинии между точками пересечения ее носовой и

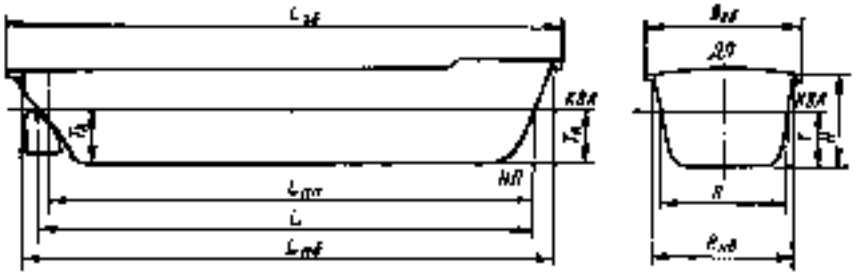


Рис. 4 Главные размерения судна

кормовой частей с ДП. Аналогично определяют длину по любой *расчетной ватерлинии*.

Наибольшая длина $L_{нб}$ измеряется в горизонтальной плоскости между крайними точками носовой и кормовой оконечностей корпуса без учета его выступающих частей.

Габаритная длина $L_{сб}$ измеряется в горизонтальной плоскости с учетом постоянно выступающих частей корпуса (рудерпоста, привального бруса).

Ширина корпуса B измеряется на миделе плоскости КВЛ в наиболее широком ее месте между теоретическими поверхностями бортов. Для речных судов обычно это измерение проводится на мидель-шпангоуте.

Наибольшая ширина $B_{нб}$ измеряется в горизонтальной плоскости между крайними точками корпуса без учета выступающих частей (обносов, привального бруса).

Габаритная ширина $B_{сб}$ измеряется с учетом выступающих частей корпуса.

Высота борта H измеряется в плоскости мидель-шпангоута по вертикали от горизонтальной плоскости, проходящей через точку пересечения килевой линии с плоскостью мидель-шпангоута до теоретической поверхности палубы у борта (до линии борта). *Килевая линия* (КЛ) — линия пересечения днищевой части теоретической поверхности корпуса с ДП.

Осадка T измеряется по вертикали от ОП до плоскости КВЛ или расчетной ватерлинии. Для судна, имеющего дифферент, обычно указывают осадку носом $T_н$ и кормой $T_к$. Осадки носом и кормой - вертикальные расстояния на носовом и кормовом перпендикулярах от ОП до плоскости расчетной ватерлинии.

Форма корпуса судна характеризуется отношениями главных размерений L/B, B/T, H/T, коэффициентами полноты, а также очертаниями носовой и кормовой оконечностей. Так, отношение L/B определяет ходкость судна. Чем больше скорость судна, тем больше должно быть это отношение. Отношение B/T характеризует остойчивость судна.

Наиболее полное представление о форме погруженной части корпуса судна дают безразмерные коэффициенты полноты.

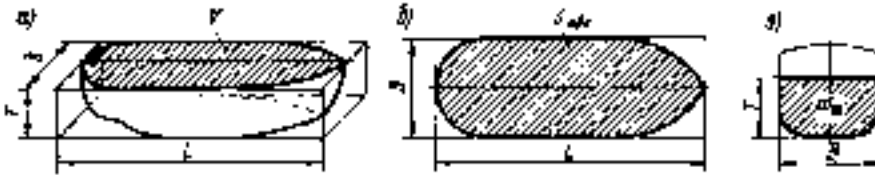


Рис. 5. Определение коэффициентов полноты корпуса судна

Коэффициент общей полноты водоизмещения δ — отношение объема V подводной части корпуса к объему прямоугольного параллелепипеда с размерами ребер L, B, T, в который вписывается этот объем (рис. 5, *а*):

$$\delta = \frac{V}{LBT}. \tag{1}$$

Коэффициент полноты ватерлинии α — отношение площади конструктивной (грузовой) ватерлинии S к площади описанного вокруг нее прямоугольника со сторонами L и B (рис. 5, *б*):

$$\alpha = \frac{S}{LB}. \tag{2}$$

Коэффициент полноты мидель-шпангоута β — отношение погруженной части площади мидель-шпангоута ω к площади описанного вокруг него прямоугольника со сторонами B и T (рис. 5, *в*):

$$\beta = \frac{\omega}{BT}. \tag{3}$$

Коэффициент продольной полноты φ — отношение объема подводной части корпуса V к объему цилиндра, основание которого очерчено обводом мидель-шпангоута, а длина образующих равна длине судна L:

$$\varphi = \frac{V}{\omega L} = \frac{\delta}{\beta}. \tag{4}$$

Коэффициент вертикальной полноты корпуса χ — отношение объема подводной части корпуса V к объему прямого цилиндра с основанием, ограниченным обводом конструктивной ватерлинии и образующей, равной осадке судна T,

$$\chi = \frac{V}{ST} = \frac{\delta}{\alpha}. \tag{5}$$

Основные характеристики формы корпусов судов внутреннего плавания приведены в табл. 2.

Таблица 2

Суда	δ	α	φ	L/B	B/T	L/H
Пассажирские суда:						
винтовые	0,45—0,65	0,75—0,8	0,8 —0,87	8,0—7,5	4,0—6,0	17—22
колесные	0,75—0,82	0,6—0,85	0,97—0,99	6,0—8,5	5,5—9,5	18—22
катамараны[1]	0,03—0, 45	0,74—0,76	0,84—0,92	11,4—15,4	2,0—3,0	20—22
Грузо-пассажирские винтовые суда	0,65—0,75	0,75—0,85	0,8—0,97	7,0—10,0	5,0 -6,0	22—25
Сухогрузные самоходные суда:						
смешанного плавания	0,76—0,82	0,85—0,9	0,995—0,997	7,0— 9,0	3,3—4,5	16—20
классов «О» и «Р»	0,8—0,85	0,88—0,92	0,995—0,997	5,5—8,2	4,4—7,4	19—28
Пароходы	0,6—0,67	0,76—0,9	0,9 -0,94	3,3—7,0	4,0—6,0	10—22
Буксиры-толкачи:						
винтовые	0,55—0,65	0,78—0,9	0,9—0,99	3,5—4,5	4,0—7,0	12—15
колесные	0,8 —0,82	0,83—0,88	0,997—0,998	5,0 -7,0	7,2—9,2	15—22
Буксиры винтовые	0,5—0,65	0,75—0,9	0,85—0,98	3,6—5,5	3,0—7,0	7,5 - 10
Баржи:						
сухогрузные площадки	0,85 - 0,9	0,92—0,99	0,997—0,999	5,2—5,0	6,0—9,5	22—33
сухогрузные трюмные	0,8—0,85	0,9—0,95	0,997—0,999	5,5 6,0	4,5—6,0	18—22
нефтеналивные	0,85—0,9	0,92—0,99	0,997 - 0,999	5,0—7,0	5,5—7,0	30— 40
Баржи-секции	0,86—0,92	0,94- 0,96	0,997—0,999	6,6—7,2	4,0—5,0	20—22

[1] Характеристики даны по одному корпусу.

По коэффициентам полноты корпуса судна и его главным размерениям можно определить:

из формулы (1) объем подводной части судна

$$V = \delta LBT; \tag{6}$$

из формулы (2) площадь КВЛ

$$S = \alpha LB; \tag{7}$$

из формулы (3) площадь мидель-шпангоута

$$\omega = \beta BT. \tag{8}$$

9. ПОСАДКА СУДНА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСАДКИ ПО МАРКАМ УГЛУБЛЕНИЯ

Посадкой называется положение судна относительно поверхности воды. Судно может занимать различное положение. Диаметральная плоскость судна наклонена на некоторый угол θ (рис. 6) по отношению к вертикальной плоскости, который называется *углом крена*. Плоскость мидель-шпангоута может быть наклонена к вертикальной плоскости на некоторый угол ψ, который называется *углом дифферента*.

Посадка судна, при которой плоскость мидель-шпангоута и ДП вертикальны ($\psi = 0$, $\theta = 0$), называется *прямой*. Судно, имеющее такую посадку, называют *сидящим на ровный киль*.

Если $\theta > 0$, $\psi = 0$, то судно сидит на ровный киль, но с креном, при $\theta = 0$, $\psi > 0$ судно сидит прямо, но с дифферентом. Если судно имеет крен и дифферент, то его посадку называют *произвольной*.

У судна, имеющего посадку с дифферентом, осадки носом $T_н$ и кормой $T_к$ различны. Разность осадок носом и кормой определяет *дифферент* судна:

$$d = T_н - T_к.$$

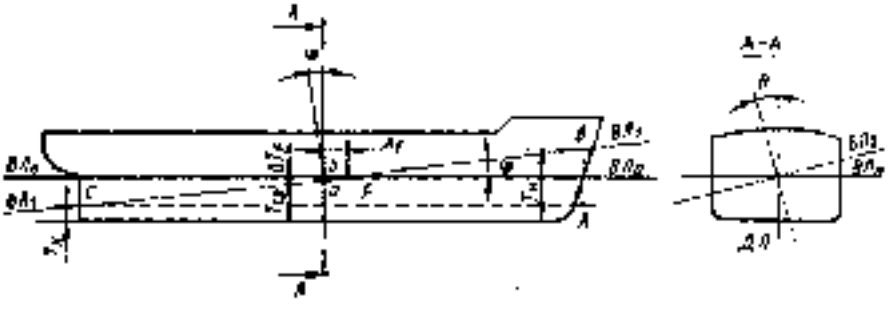


Рис. 6. Характеристики посадки судна

Полусумму осадок судна носом и кормой называют *средней осадкой*:

$$T_{ср}=\frac{T_н+T_к}{2}. \tag{9}$$

Продольные наклонения судна происходят относительно поперечной оси, проходящей через центр тяжести площади ватерлинии. Положение центра тяжести действующей ватерлинии F относительно миделя определяется абсциссой x_f.

Осадка судна в районе центра тяжести площади ватерлинии

$$T_f=T_{ср}+\Delta T_F, \tag{10}$$

где ΔT_F — поправка к средней осадке, м.

Для определения поправки рассмотрим треугольники abF и ABC. Из подобия треугольников $ab/(\bar{a}\bar{b}F) = AB/(AC)$ или $\Delta T_F/x_f = (T_н - T_к)/L$,

откуда

$$\Delta T_F=\frac{T_н-T_к}{L}\,x_f. \tag{11}$$

Подставив полученное значение ΔT_F в выражение (10), получим

$$T_f=T_{ср}\pm\frac{T_н-T_к}{L}\,x_f. \tag{12}$$

При расчетах поправки T_F следует учитывать знак перед x_f. Если центр тяжести F площади ватерлинии расположен в нос от миделя, то абсцисса x_f берется со знаком плюс, если же он расположен в корме от миделя, то x_f — со знаком минус.

При определении осадок по формулам (9) и (12) допускаются некоторые погрешности, однако их достоверность достаточна для практических расчетов. Для измерения фактических осадок служат марки осадок, которые наносят на обоих бортах корпуса на носовом и кормовом перпендикулярах.

10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ШПАНГОУТОВ И ВАТЕРЛИНИЙ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ ЧЕРТЕЖУ

При определении объема погруженной части корпуса судна по теоретическому чертежу необходимо уметь вычислять площади, ограниченные линиями сечения корпуса параллельными плоскостями. Такими сечениями являются площади ватерлиний и шпангоутов.

Площадь шпангоута определяется его очертанием на проекции корпус. В координатных осях z, y его погруженную площадь с осадкой T разбивают на четыре равные части, соответствующие числу теоретических ватерлиний (рис. 7, *а*). Ординаты на один борт обозначают y_0, y_1, y_2, y_3, y_4, а расстояние между ватерлиниями — через $\Delta T = T/4$.

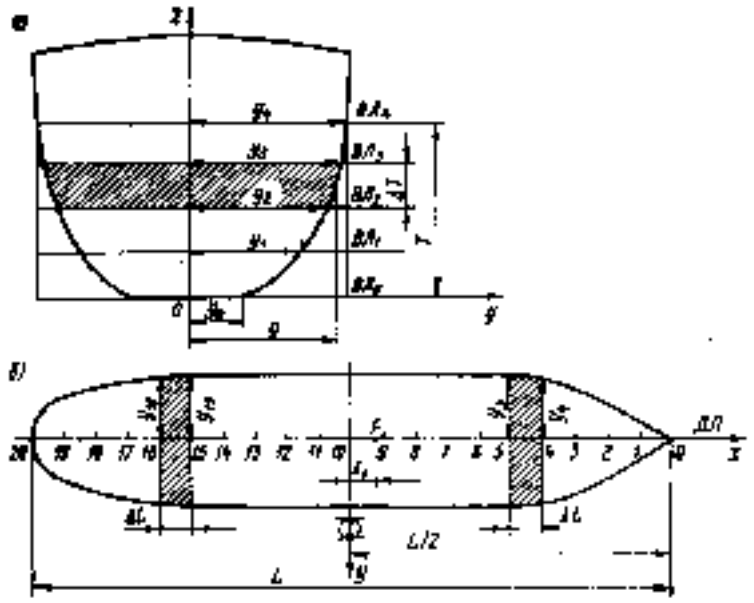


Рис. 7. Определение площадей шпангоута и ватерлинии

В связи с симметрией шпангоута относительно ДП его искомая площадь в соответствии с правилом приближенных вычислений способом трапеций определится как удвоенная сумма площадей элементарных площадок:

$$\omega = 2\left(\frac{y_0+y_1}{2}\Delta T + \frac{y_1+y_2}{2}\Delta T + \frac{y_2+y_3}{2}\Delta T + \frac{y_3+y_4}{2}\Delta T\right).$$

После преобразования получим

$$\omega = 2\Delta T\left(y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4 - \frac{y_0+y_4}{2}\right).$$

Введем обозначения:

$\sum_{i=0}^{4} y_i = y_0 + y_1 + y_2 + y_3 + y_4$ — сумма всех ординат; $\Delta\Sigma = (y_0 + y_4)/2$ — поправка, равная полусумме крайних ординат.

Тогда исправленная сумма равна сумме всех ординат за минусом поправки — полусуммы крайних ординат:

$$\sum_{i=0}^{4} y_i - \sum_{i=0}^{4} y_i - \Delta\Sigma.$$

Формула для определения площади шпангоута будет иметь вид

$$\omega = 2\Delta T \sum_{i=0}^{k} y_i, \qquad (13)$$

где $\Delta T = T/k$ — расстояние между ватерлиниями, м; $\sum_{i=0}^{k} y_i$ — исправленная сумма ординат, м; k — номер расчетной ватерлинии.

Из формулы (13) следует, что площадь шпангоута равна удвоенному произведению интервала между ватерлиниями на исправленную сумму ординат.

Вычисление площадей шпангоутов удобно производить в табличной форме (табл. 3).

Площадь ватерлинии определяют также по правилу трапеции. С этой целью длину корпуса судна разделяют на равные расстояния, соответствующие длине теоретической шпации: $\Delta L = L/20$. Тогда площадь ватерлинии от носового шпангоута *0* до кормового *20* (рис. 7, *б*)

$$S = 2\left(\frac{y_0 + y_1}{2}\Delta L + \frac{y_1 + y_2}{2}\Delta L + \ldots + \frac{y_{19} + y_{20}}{2}\Delta L + \frac{y_{19} + y_{20}}{2}\Delta L\right).$$

Таблица 3

Номер ватерлинии	Ордината, *y*	Номер шпангоута	Ордината, *y*
B/T_0	y_0	0	y_0
B/T_1	y_1	1	y_1
B/T_2	y_2	2	y_2
B/T_3	y_3	3	y_3
B/T_4	y_4	.	.
		.	.
		.	.
		18	y_{18}
		19	y_{19}
		20	y_{20}
Сумма $\Sigma' y_i$	$\Sigma' y_i = \sum_{0}^{k} y_i$	Сумма Σ'	$\Sigma' = \sum_{0}^{20} y_i$
Поправка $\Delta\Sigma$	$\Delta\Sigma = \frac{1}{2}(y_0 + y_k)$	Поправка $\Delta\Sigma$	$\Delta\Sigma = \frac{1}{2}(y_0 + y_{20})$
Исправленная сумма Σy_i	$\Sigma y_i = \Sigma' y_i - \Delta\Sigma$	Исправленная сумма Σ	$\Sigma = \Sigma' - \Delta\Sigma$
Площадь шпангоута ω, м²	$\omega = 2\Delta T \Sigma y_i$	Площадь ватерлинии S, м²	$S = 2\Delta L \Sigma$

Используя принятые ранее обозначения, получим:

$\sum_{i=0}^{20} y_i = y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{19} + y_{20}$ — общая сумма координат, м;

$\Delta\Sigma = (y_0 + y_{20})/2$ — поправка, равная полусумме крайних ординат, м; $\sum_{i=0}^{n} y_i = \sum_{i=0}^{20} y_i - \Delta\Sigma$ — исправленная сумма, м.

Тогда выражение для определения площади ватерлинии

$$S = 2\Delta L \sum_{i=0}^{n} y_i, \qquad (14)$$

где ΔL — теоретическая шпация, м; n - номер шпангоута, который пересекает данная ватерлиния.

Из формулы (14) следует, что площадь ватерлинии равна удвоенному произведению теоретической шпации на исправленную сумму ординат. Расчет площади ватерлинии проводят в табличной форме таблицы (см. табл. 3).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие плоскости принимают за базовые при построении теоретического чертежа?
2. Дайте краткое определение понятий батокс, ватерлиния и шпангоут.
3. Как измерять главные размерения судна L, B, T, H?
4. Сформулируйте понятия коэффициентов полноты δ, α, β, φ, χ. По табл. 2 проанализируйте их изменение в зависимости от назначения судна.
5. Что такое крен и дифферент судна?
6. Как на практике определяют осадку судна?
7. В чем суть способов трапеций при определении площадей?

Глава III

ПЛАВУЧЕСТЬ СУДНА

11. УСЛОВИЯ ПЛАВУЧЕСТИ И РАВНОВЕСИЯ СУДНА

Плавание судна подчиняется закону Архимеда, согласно которому на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила (сила поддержания), направленная вертикально вверх, равная весу жидкости, вытесненной телом. Линия действия равнодействующей всех сил давления проходит через центр тяжести (ЦТ) подводного объема.

Сила поддержания $P_0 = gD$ является результирующей всех сил, возникающих вследствие давления воды на каждый элемент смоченной поверхности корпуса. Она направлена вертикально вверх и проходит

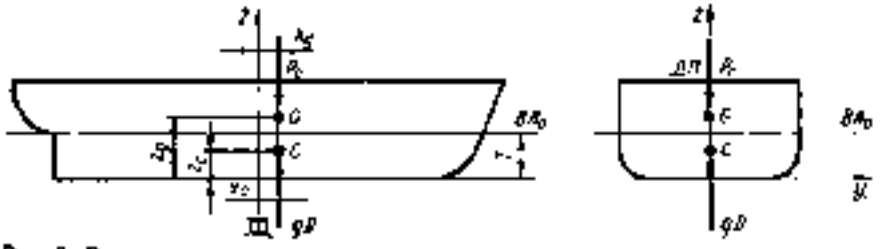


Рис. 8. Равновесие судна без крена и дифферента

через центр масс C (рис. 8) подводного объема корпуса, который называют центром величины (ЦВ).

Сила плавучести (поддержания) согласно закону Архимеда равна весу воды, вытесненной корпусом судна.

$$P_a = \gamma V, \tag{15}$$

где γ — удельный вес воды, кН/м³; V — объемное водоизмещение, м³.

Удельный вес воды является переменной величиной. При расчетах, связанных с проектированием судов, принимают обычно $\gamma = 10{,}05$ кН/м³ для морской воды и $\gamma = 9{,}81$ кН/м³ для пресной воды.

В противоположном направлении действует сила тяжести судна P_c, которая при любых его положениях направлена вертикально вниз и приложена в ЦТ.

Центр тяжести — это неизменно связанная с твердым телом точка, через которую проходит равнодействующая сил тяжести, действующих на частицы этого тела. Например, у однородного шара центр тяжести находится в центре его симметрии. У судна центр тяжести находится в диаметральной плоскости — на плоскости симметрии.

Силу тяжести судна можно выразить через массу вытесненной им воды:

$$P_c = \rho g V, \tag{16}$$

где ρ — плотность воды, т/м³; g — ускорение свободного падения, м/с².

Водоизмещение — количество воды, вытесненной плавающим судном, — одна из основных эксплуатационных характеристик судна. Различают объемное и массовое водоизмещение судна.

Объемное водоизмещение V численно равно объему подводной части корпуса судна ниже ватерлинии, включая выступающие части (руль, винты, кронштейны и др.). Оно изменяется в зависимости от плотности воды. В море объемное водоизмещение судна будет меньше, чем у того же судна в реке, так как плотность морской воды выше, чем речной.

Массовое водоизмещение D постоянно и равно массе всего судна и находящихся на нем грузов, включая судовые запасы и балласт

$$D = \rho V, \tag{17}$$

где V — объем подводной части судна, м³.

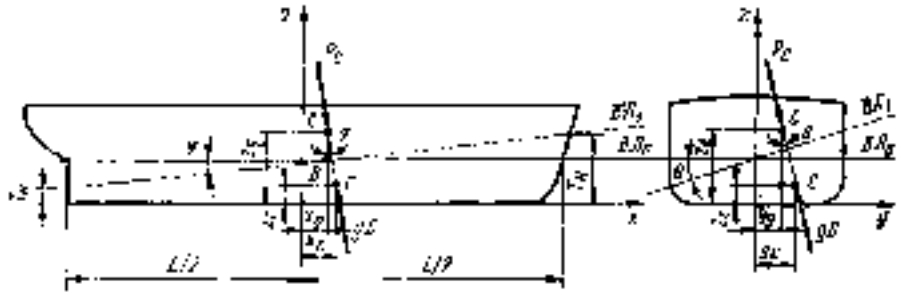


Рис. 9. Равновесие судна, плавающего с дифферентом и креном

В статике корабля пользуются также понятием *весового водоизмещения*:

$$D_в = g\,D = \gamma\,V = \rho\,g\,V. \tag{18}$$

Весовое водоизмещение в отличие от массового зависит от широты местонахождения судна и изменяется пропорционально изменению ускорения свободного падения.

Из теоретической механики известно, что для равновесия тела, на которое действуют две системы сил, необходимо и достаточно, чтобы равнодействующие этих сил были равны и направлены по одной прямой в противоположные стороны. На основании указанного правила для равновесия судна, плавающего в спокойной воде, необходимо соблюдение двух условий.

Первое из них заключается в равенстве силы тяжести судна и силы поддержания: $P_c = P_п$.

Второе условие - центр величины C и центр тяжести G должны находиться на одной вертикальной линии (см. рис. 8).

Следовательно, для плавания судна по заданную ватерлинию необходимо и достаточно, чтобы его сила тяжести P_c, приложенная в центре тяжести G, была равна силе поддержания $P_п$, приложенной в центре величины C, и точки их приложения G и C лежали на одной вертикальной прямой.

Если силу тяжести судна выразить через массу вытесненной воды

$$P_c = g\,D = \rho\,g\,V, \tag{19}$$

то первое условие равновесия плавающего судна примет вид

$$P_c = \rho\,g\,V = g\,D = P_п. \tag{20}$$

Обозначив координаты центра тяжести G через x_g, y_g, z_g, а координаты центра величины C через x_c, y_c, z_c, можно написать условие равновесия судна в системе координат, если оно не имеет крена и дифферента (см. рис. 8): $x_c = x_g = 0$; $y_c = y_g = 0$.

При наличии у судна дифферента или крена (рис. 9) система меняется и принимает более сложный вид. В случае крена — наклона судна в поперечном направлении — ЦТ сместится от ДП в сторону борта и для обеспечения равновесия ЦВ будет перемещаться в сторону того же борта до тех пор, пока силы P_c и $P_a = gD$ не окажутся на одной прямой.

12. ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ, ДЕДВЕЙТ И ЧИСТАЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ СУДНА

Водоизмещение судна (массовое) складывается из постоянных и переменных масс. В число постоянных масс, составляющих массовое водоизмещение порожнего судна D_0, входят:

$m_к$ — масса корпуса, надстройки, судовых систем и устройств, электрооборудования, средств связи и управления, инвентаря;

$m_м$ — масса главных двигателей, вспомогательных механизмов, движителей и валопроводов.

В состав переменных масс на транспортных судах входят:

$m_г$ — масса груза и пассажиров с багажом, запасами продовольствия и питьевой воды;

$m_т$ — масса запасов топлива и смазочных материалов;

$m_э$ — масса экипажа с багажом, запасами продовольствия и питьевой воды.

Сумма всех составляющих постоянных и переменных масс определяет массу судна, или его массовое водоизмещение, с полным грузом:

$$D = m_к + m_м + m_г + m_т + m_э. \tag{21}$$

Водоизмещение порожнего судна

$$D_0 = m_к + m_м. \tag{22}$$

Разность между полным и порожним водоизмещениями называют *дедвейтом*, или *полной грузоподъемностью судна*:

$$Q_{дв} = D - D_0. \tag{23}$$

Дедвейт при осадке по грузовую марку является основной эксплуатационной характеристикой судна. Он состоит из массы полезного груза, пассажиров с командой с багажом, запасов топлива и смазочных материалов, продовольствия, питьевой воды, фекальных и подсланевых вод в корпусе, других переменных грузов.

Часть дедвейта, равная массе полезного груза, составляет чистую грузоподъемность $Q_{чг}$. Чистая грузоподъемность показывает, какое количество перевозимого груза можно принять на судно при осадке по грузовую ватерлинию в зависимости от массы принимаемых на рейс запасов,

$$Q_{чг} = Q_{дв} - m_з, \tag{24}$$

где $m_з$ — масса принимаемых на рейс запасов, т.

Степень использования объема помещений выражается для грузовых судов при помощи коэффициентов утилизации водоизмещения по дедвейту и чистой грузоподъемности:

$$\eta_{дв} = \frac{Q_{дв}}{D}; \quad \eta_{чг} = \frac{Q_{чг}}{D}.$$

Коэффициент утилизации водоизмещения по дедвейту для данного судна является величиной постоянной и характеризует прежде всего качество его проекта.

Коэффициент утилизации водоизмещения по чистой грузоподъемности — величина переменная, во многом зависящая от действий экипажа. Четкое планирование рейсов, рациональные запасы топлива и питьевой воды, продуманная загрузка судна способствуют увеличению этого коэффициента и в конечном счете повышению эффективности работы судна.

13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОМУ ЧЕРТЕЖУ

Объем подводной части судна, как и любого тела, ограниченного криволинейной поверхностью, определяют при помощи метода параллельных сечений с применением правила трапеций. Корпус разбивают на n элементарных объемов рядом равноотстоящих параллельных плоскостей. Такими плоскостями на теоретическом чертеже являются плоскости теоретических шпангоутов ω_0, ω_1, ω_2, ... ω_n (рис. 10, *а*). Поэтому для определения объема подводной части корпуса необходимо вначале вычислить площадк шпангоутов.

Объем каждого элементарного слоя с небольшой погрешностью можно принять равным полусумме ограничивающих слой площадей шпангоутов, умноженной на расстояние, равное длине теоретической шпации L/n:

$$v_1 = \frac{\omega_0 + \omega_1}{2} \cdot \frac{L}{n}. \qquad (25)$$

Объем подводной части корпуса будет равен сумме элементарных объемов:

$$V = \sum_{i=1}^{n} v_i = \frac{\omega_0 + \omega_1}{2} \cdot \frac{L}{n} + \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot \frac{L}{n} + \ldots + \frac{\omega_{n-1} + \omega_n}{2} \cdot \frac{L}{n}.$$

После сложения всех членов правой части получим

$$V = \frac{L}{n}\left(\frac{\omega_0}{2} + \omega_1 + \omega_2 + \ldots + \omega_{n-1} + \frac{\omega_n}{2}\right)$$

или

$$V = \frac{L}{n}\left[(\omega_0 + \omega_1 + \omega_2 + \ldots + \omega_{n-1} + \omega_n) - \frac{\omega_0 + \omega_n}{2}\right]. \qquad (26)$$

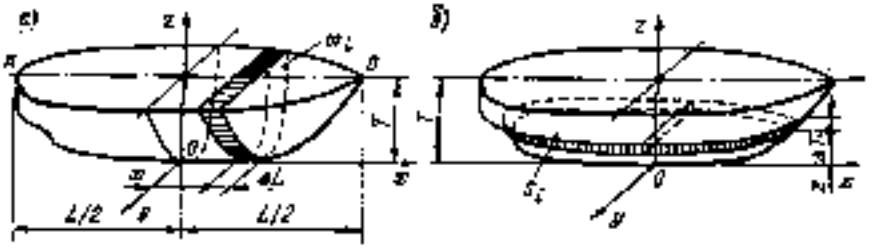


Рис. 10. Определение объема погруженной части корпуса

Объемное водоизмещение равно произведению длины теоретической шпации на исправленную сумму площадей шпангоутов, равную сумме всех площадей шпангоутов за минусом полусуммы крайних.

При определении объемного водоизмещения судна можно применять продольно-горизонтальные секущие плоскости. Такими плоскостями на теоретическом чертеже будут равноотстоящие друг от друга ватерлинии S_0, S_1, S_2, ..., S_n (рис. 10, *б*).

Применив известное правило трапеций, получим объем продольного элементарного слоя:

$$v_i = \frac{S_0 + S_1}{2} \cdot \frac{T}{n}. \qquad (27)$$

Объем подводной части корпуса

$$V = \sum_{i=1}^{n} v_i = \frac{S_0 + S_1}{2} \cdot \frac{T}{n} + \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot \frac{T}{n} + \ldots + \frac{S_{n-1} + S_n}{2} \cdot \frac{T}{n}$$

или

$$V = \frac{T}{n}\left[(S_0 + S_1 + S_2 + \ldots + S_{n-1} + S_n) - \frac{S_0 + S_n}{2}\right]. \qquad (28)$$

Объемное водоизмещение судна равно произведению T/n на исправленную сумму площадей ватерлиний, равную сумме всех площадей ватерлиний за минусом полусуммы крайних.

Таким образом, объемное водоизмещение судна можно определить по теоретическому чертежу, применив формулы (26) или (28).

14. СТРОЕВЫЕ ПО ШПАНГОУТАМ И ВАТЕРЛИНИЯМ

Важнейшими элементами плавучести являются объемное водоизмещение V, абсцисса x_c и аппликата z_c центра величины. Для построения теоретического чертежа и проведения необходимых расчетов по теории корабля графически изображают зависимость этих величин от осадки судна.

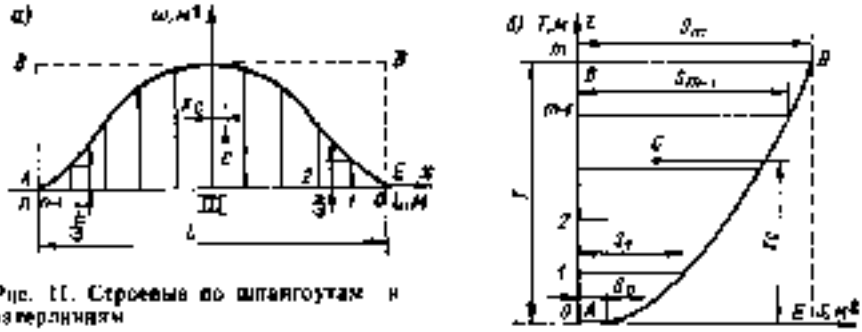


Рис. 11. Строевые по шпангоутам и ватерлиниям

Строевая по шпангоутам (рис. 11, *а*) — кривая, определяющая зависимость площади погруженной части шпангоутов от длины судна и характеризующая распределение объемного водоизмещения по длине судна. Строевую по шпангоутам вычерчивают по точкам. Вычисленные значения площади каждого теоретического шпангоута откладывают в соответствующем масштабе на вертикальной оси. Основанием этих ординат служит положение данного шпангоута по длине судна.

Строевая по шпангоутам имеет следующие свойства:

площадь, ограниченная строевой по шпангоутам, равна объемному водоизмещению;

абсцисса центра тяжести строевой равна абсциссе x_c центра тяжести погруженного в воду объема судна;

коэффициент полноты площади строевой равен коэффициенту продольной полноты судна и определяется отношением площади строевой по шпангоутам к площади описанного около него прямоугольника:

$$\frac{S_{стр}}{S_{АВРЕ}} = \frac{V}{\omega L} = \frac{\delta}{\beta} = \varphi; \qquad (29)$$

форма строевой по шпангоутам наглядно показывает распределение объема подводной части судна;

любая ордината строевой представляет собой площадь соответствующего шпангоута.

Строевая по ватерлиниям (рис. 11, *б*) показывает изменение площади ватерлинии по высоте борта. Строевую по ватерлиниям строят по точкам. На вертикальной оси наносят положение теоретических ватерлиний, а на горизонтальной — отрезок, определяющий в выбранном масштабе площадь соответствующей ватерлинии.

Строевая по ватерлиниям обладает следующими свойствами:

площадь, ограниченная строевой по ватерлиниям, равна объемному водоизмещению;

ордината центра тяжести строевой равна аппликате z_c центра тяжести погруженного в воду объема судна;

коэффициент полноты площади строевой равен коэффициенту вертикальной полноты судна и определяется как отношение площади строевой по ватерлиниям к площади описанного около нее прямоугольника

$$\frac{S_{\text{стр}}}{S_{ABDE}} = \frac{V}{ST} = \frac{\delta}{\alpha} = \kappa; \qquad (30)$$

форма строевой по ватерлиниям дает наглядное представление о распределении объема подводной части судна по его осадке; любая абсцисса строевой представляет собой площадь соответствующей ватерлинии.

Строевые по шпангоутам и ватерлиниям широко используют при проектировании обводов корпусов судов.

15. КРИВАЯ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ. ГРУЗОВОЙ РАЗМЕР И ГРУЗОВАЯ ШКАЛА

Используя данные строевой по ватерлиниям, можно определить объемы подводной части корпуса на каждую ватерлинию. Зная объемы, строят кривую изменения объемного водоизмещения в зависимости от осадки судна (рис. 12): на вертикальной оси откладывают положения теоретических ватерлиний, а по горизонтальной — соответствующее данной осадке объемное водоизмещение.

Кривая объемного водоизмещения позволяет определить:

фактическое водоизмещение судна при данной осадке или, наоборот, при заданном водоизмещении без выполнения дополнительных расчетов осадку;

изменение осадки судна ΔT при приеме или снятии дополнительного груза q, что повлечет за собой увеличение или уменьшение объемного водоизмещения ΔV.

Для построения кривой водоизмещения на оси абсцисс вправо от начального водоизмещения V_1 (см. рис. 12) откладывают значение ΔV. Из полученной точки проводят перпендикуляр до пересечения с кривой объемного водоизмещения (точка A). Точку A сносят по горизонтали на ось ординат, где и определяют новую осадку судна, а следовательно, и приращение осадки ΔT.

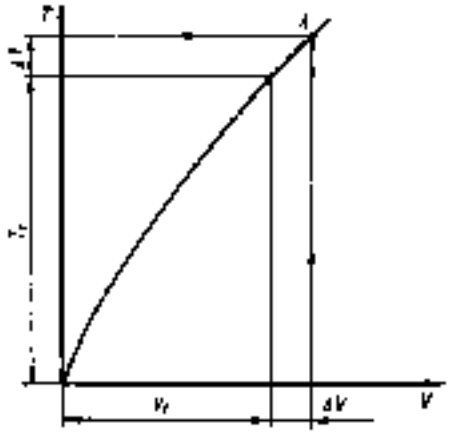


Рис. 12. Кривая объемного водоизмещения

Грузовой размер — кривая, показывающая зависимость водоизмещения от осадки. Кривая объемного водоизмещения и грузовой размер совпадают. Однако для грузового размера отсчет осадок начинается с осадки, соответствующей водоизмещению порожнего судна, т. е. нижняя часть кривой отбрасывается.

Грузовая шкала — табличное выражение зависимости между осадкой судна, дедвейтом, водоизмещением и надводным бортом. На рис. 13 показана грузовая шкала теплохода типа «Волго-Дон». По первой графе шкалы определяют массу груза на 1 см осадки. При осадке судна 3,35 ...3,53 м ее увеличение или уменьшение на 1 см соответствует приему или снятию груза массой 20,9 т. Удобна для расчетов шкала полной грузоподъемности (дедвейта). Так, при средней осадке 3 м полная грузоподъемность в пресной воде равна 4320 т, а общая масса принятого груза определится как разность

$$q = 4320 - \Sigma m_{доп},$$

где $\Sigma m_{доп}$ — сумма дополнительно принятых запасов топлива, смазочных материалов, воды, балласта, т.

Грузовая шкала входит в состав основной документации, которой снабжается судно, введенное в эксплуатацию после постройки, и используется командным составом флота в практической работе.

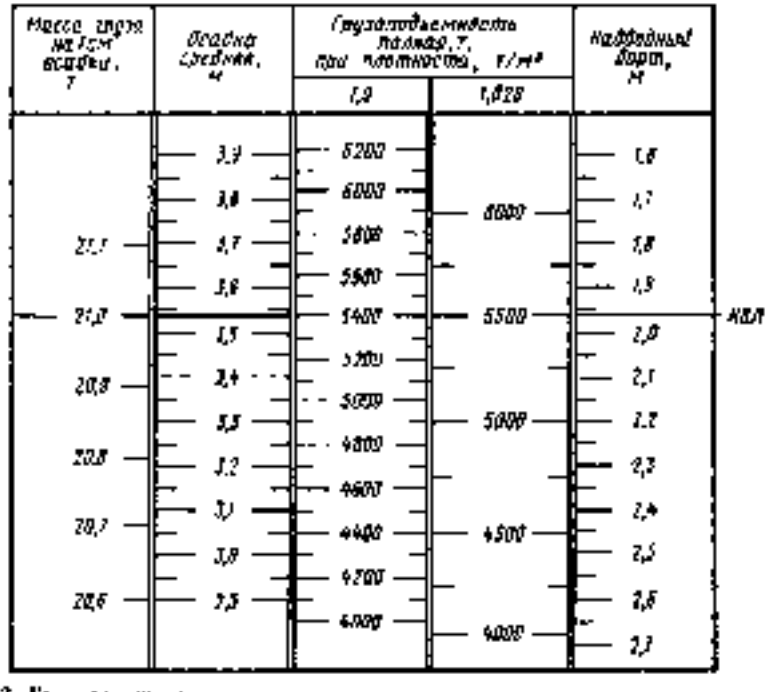


Рис. 13. Грузовая шкала

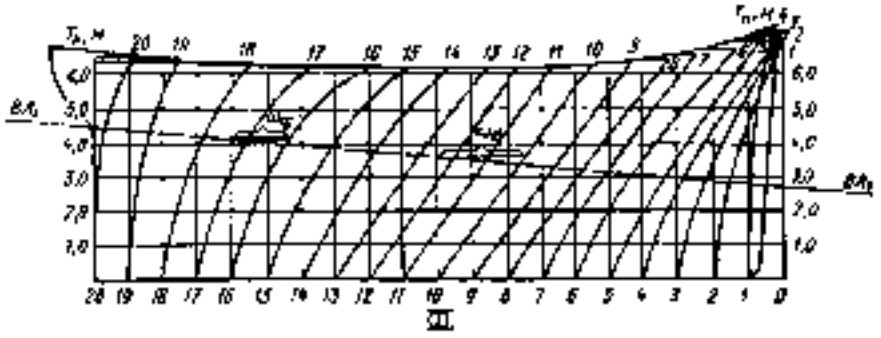


Рис. 14. Масштаб Бонжана

Если судно имеет большой дифферент, то для определения его водоизмещения используют специальную диаграмму, называемую масштабом Бонжана (рис. 14), представляющую собой совокупность кривых, абсциссы которых в масштабе равны площадям шпангоутов при соответствующей осадке.

Масштабом Бонжана пользуются следующим образом. По фактическим различным осадкам носа $T_н$ и кормы $T_к$ на масштабе Бонжана наносят наклонную ватерлинию B_1T_1. Для определения площади 16-го шпангоута из точки пересечения действующей ватерлинии со следом шпангоута на диаметральной плоскости проводят горизонталь до пересечения с соответствующей кривой площади 16-го шпангоута. Измерив отрезок ω_{16} в масштабе площадей шпангоутов, находим площадь его погруженной части.

На рис. 14 показаны значения ω_{16} шестнадцатого шпангоута на данной ватерлинии и ω_{10} миделевого шпангоута. Определив площади всех шпангоутов, вычисляют объем подводной части судна по погруженную ватерлинию.

16. ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕЙ ОСАДКИ СУДНА ПРИ ПРИЕМЕ И СНЯТИИ ГРУЗА

Малым считается груз, составляющий 5—10 % водоизмещения судна, от приема или снятия которого изменение осадки находится в пределах практически неизменной площади ватерлинии.

Если на судно принять малый груз массой q (рис. 15), то объемное водоизмещение возрастет на значение ΔV, называемое *добавочным слоем водоизмещения*:

$$\Delta V = \Delta TS, \tag{31}$$

где S - площадь ватерлинии, м².

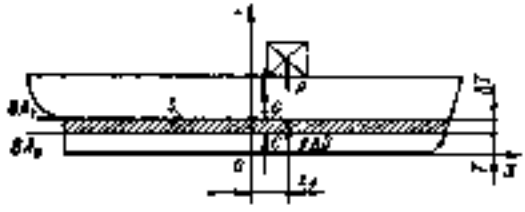


Рис. 15. Изменение осадки при приеме малого груза

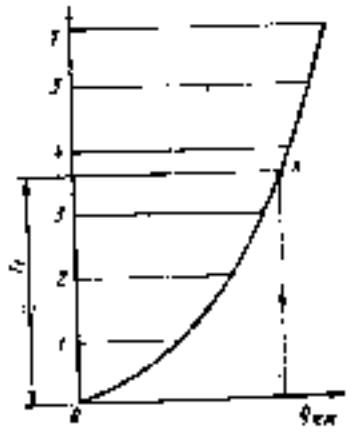


Рис. 16. Изменение нагрузки на 1 см осадки

Из выражения (31) находим приращение осадки.

$$\Delta T = \frac{\Delta V}{S}. \qquad (32)$$

Так как масса принятого груза $q = \rho \Delta V$ (где ρ — плотность воды, т/м³), то выражение (32) можно записать в виде

$$\Delta T = \frac{\pm q}{\rho S}. \qquad (33)$$

Поскольку масса q принятого груза мала по сравнению с массой судна, то к дополнительно вошедший в воду объем ΔV будет меньше по сравнению с объемным водоизмещением V судна. Поэтому вертикаль, проходящая через центр тяжести принятого груза, будет близка к вертикали, проходящей через центр тяжести дополнительного объема водоизмещения, абсцисса которого равна абсциссе центра тяжести начальной ватерлинии x_f.

Таким образом, при приеме или снятии малого груза судно не получит крена или дифферента, если центр тяжести принятого или снятого груза будет расположен на одной вертикали с центром тяжести площади ватерлинии.

При решении судоводителями практических задач, связанных с изменением средней осадки судна при приеме или снятии груза, пользуются величиной $q_{1\,см}$ — масса груза, от приема или снятия которой осадка судна изменится на 1 см.

Для получения формулы для расчета величины $q_{1\,см}$ рассмотрим приращение объемного водоизмещения от принятия груза при увеличении осадки на 1 см. При $\Delta T = 0{,}01$ м и $\Delta V = 0{,}01\,S$

$$q_{1\,см} = 0{,}01 \rho S = \frac{\rho S}{100}. \qquad (34)$$

Зная число тонн груза, которые изменяют осадку судна на 1 см, легко определить изменение осадки при приеме или снятии груза q. Изменение осадки судна в сантиметрах и метрах соответственно:

$$\Delta T = \frac{q}{q_{1\,см}}; \quad \Delta T = \frac{q}{100 q_{1\,см}}. \tag{35}$$

Из выражения (34) видно, что величина $q_{1\,см}$ пропорциональна площади S ватерлинии. В то же время распределение площади ватерлинии характеризуется, как известно, строевой по ватерлиниям. Следовательно, изменение величины $q_{1\,см}$ происходит по тому же закону. Поэтому, применив масштаб к строевой по ватерлиниям в виде величины $\rho/100$, можно построить кривую числа тонн на 1 см осадки (рис. 16).

По данной кривой легко определяют новую осадку судна при приеме или снятии груза. Для этого по начальной осадке T_1 на кривой находят точку A, соответствующую значению $q_{1\,см}$, и, используя формулу (35), находят новое значение осадки судна:

$$T_2 = T \pm \frac{q}{100 q_{1\,см}}. \tag{36}$$

В формулах (33) и (36) знак плюс применяют при приеме груза на судно, знак минус — при снятии груза.

17. ИЗМЕНЕНИЕ ОСАДКИ СУДНА ПРИ ПЕРЕХОДЕ ИЗ ПРЕСНОЙ ВОДЫ В СОЛЕНУЮ И ОБРАТНО

Суда смешанного реки — море плавания постоянно осуществляют переходы из речных районов в морские и обратно. При этом меняется плотность воды. Массовое водоизмещение судна будет: в речной воде $D = \rho V$, в морской воде $D = \rho_м V_м$ (где ρ, $\rho_м$ — плотность соответственно пресной и морской воды, т/м³; V, $V_м$ — объемное водоизмещение соответственно в пресной и морской воде, м³).

Так как массовое водоизмещение судна остается неизменным, то можно записать

$$\rho V = \rho_м V_м. \tag{37}$$

Объемное водоизмещение в морской воде благодаря большой плотности воды будет меньше. Отсюда выражение (37) можно записать в виде

$$\rho V = \rho_м (V - \Delta V) = \rho_м (V - S \Delta T), \tag{38}$$

где ΔT — уменьшение осадки при переходе из пресной воды в морскую, м.

Тогда из выражения (38) изменение осадки при переходе из пресной воды в морскую

$$\rho V = \rho_м V \quad \rho_м S \Delta T; \quad V(\rho_м - \rho) = \rho_м S \Delta T;$$

$$\Delta T = \frac{V(\rho_м - \rho)}{\rho_м S} = \frac{\delta LBT}{\alpha BL} \frac{\rho_м - \rho}{\rho_м}.$$

$$\Delta T = \frac{\rho_м - \rho}{\rho_м} \frac{\delta}{\alpha} T. \tag{39}$$

Значения плотности воды (т/м³) в различных бассейнах следующие: реки и водохранилища — 1,000; моря: Азовское — 1,008. Балтийское — 1,011; Баренцево 1,028; Белое - 1,019; Берингово 1,023; Каспийское — 1,025; Средиземное — 1,028; Черное — 1,014; Японское — 1,024.

При переходе судна из бассейна реки Волги ($\rho = 1{,}0$ т/м³) в Каспийское море ($\rho_м = 1{,}025$ т/м³) формула (39) примет вид

$$\Delta T = \frac{1{,}000 - 1{,}025}{1{,}025} \frac{\delta}{\alpha} T. \tag{40}$$

Числитель первого сомножителя будет величиной отрицательной. Это говорит о том, что осадка судна при переходе из бассейна с пресной водой в бассейн с соленой водой уменьшается.

При переходе судна из Каспийского моря в р. Волгу формула для определения изменения осадки примет вид

$$\Delta T = \frac{1{,}025 - 1{,}000}{1{,}025} \frac{\delta}{\alpha} T. \tag{41}$$

В этом случае значение ΔT будет положительным, а значит, осадка судна увеличится.

18. ЗАПАС ПЛАВУЧЕСТИ И ГРУЗОВАЯ МАРКА ДЛЯ РЕЧНЫХ СУДОВ

Для обеспечения безопасности плавания судно должно обладать запасом плавучести. *Запас плавучести* — это объем водонепроницаемой надводной части судна, расположенной выше КВЛ до верхней водонепроницаемой палубы и включающей водонепроницаемые надстройки и рубки:

$$V_{зп} = S_{квл}(H - T)(1 + k), \tag{42}$$

где k — коэффициент, учитывающий развал бортов, седловатость палубы, наличие водонепроницаемых надстроек и рубок.

Степень непотопляемости тем выше, чем больше *относительный запас плавучести*, под которым понимают отношение запаса плавучести к расчетному объемному водоизмещению судна. Относительный за-

пас плавучести зависит от типа судна и составляет для танкеров 15—25 %, сухогрузных судов 25—50 %, пассажирских судов около 80 %.

Необходимый запас плавучести судна достигается благодаря достаточной высоте надводного борта и устройству водонепроницаемых закрытий.

Высота надводного борта судна, принимаемая в качестве основного измерителя запаса плавучести, — это расстояние от верхней кромки палубной линии до верхней кромки линии предельной осадки, измеренное отвесно по борту в миделевом сечении. Палубой надводного борта, от которой измеряется его высота, является палуба основного корпуса, до которой доведены водонепроницаемые переборки.

Регламентация запаса плавучести сводится к нормированию минимальной высоты надводного борта. При установлении минимальной высоты надводного борта, кроме запаса плавучести, учитывают и такие свойства судна, как прочность, заливаемость.

Закрытыми отверстиями при установлении высоты надводного борта считают все люки, лазы, двери, горловины и другие отверстия, снабженные прочными водонепроницаемыми закрытиями, глухие иллюминаторы, а также створчатые иллюминаторы с постоянно навешенными штормовыми крышками.

В Правилах Речного Регистра РСФСР имеется раздел, посвященный установлению наименьшей высоты надводного борта, которая зависит от класса, длины и назначения судна. Минимальная высота надводного борта обеспечивает судну запас плавучести, который считается достаточным для безопасного плавания в определенных районах и в определенное время года.

Установленное Регистром значение высоты надводного борта фиксируют путем нанесения на каждом борту грузовой марки, состоящей из палубной линии, знака грузовой марки и марок, применяемых со знаком грузовой марки.

Грузовая марка речного судна имеет палубную линию длиной 300 мм, которую проводят на каждом борту корпуса по его середине и по линии пересечения с верхней поверхностью главной палубы (рис. 17). Если в районе палубной линии имеется привальный брус, то палубную линию не наносят.

Знак грузовой марки Речного Регистра РСФСР состоит из круга диаметром 250 мм, центр которого расположен на миделе корпуса судна, и пересекается горизонтальной линией длиной 400 мм. Верхняя кромка горизонтальной линии проходит через центр круга и является линией предельной осадки при плавании в районе, соответствующем указанному классу судна. Справа от горизонтальной линии в носовой части судна наносят вертикальную линию с отходящими от нее горизонтальными линиями длиной 150 мм — грузовыми марками. Данные марки отмечают положение предельной осадки при нахождении судна в различных районах плавания.

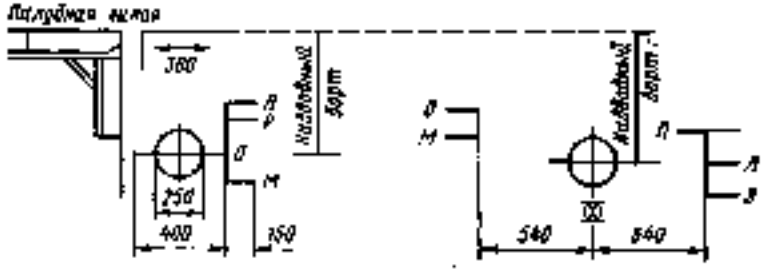


Рис. 17. Грузовые марки речных судов

О — грузовая марка, определяющая минимальную высоту надводного борта или предельную осадку для плавания судна в озерных условиях при высоте волны до 2 м;

М — грузовая марка, определяющая предельную осадку судна при плавании в районах разряда М с высотой волны до 3 м;

Р — грузовая марка, определяющая предельную осадку при плавании в районах разряда Р с высотой волны до 1,2 м;

Л — грузовая марка, определяющая предельную осадку при плавании в районах разряда Л с высотой волны до 0,6 м.

Судно, имеющее грузовую марку, изображенную на рис. 17, имеет класс О. В то же время данное судно имеет право выхода в бассейны разряда М, но уже с бо́льшим значением высоты надводного борта, т. е. с меньшей осадкой по грузовой марке, обозначенной буквой М. Это судно при плавании в бассейнах разрядов Р и Л может иметь увеличенные осадки, т. е. взять на борт больше грузов.

На судах с бортовыми гребными колесами на каждом борту наносят две грузовые марки на расстоянии около 1/3 длины судна от его оконечностей.

Соблюдение минимальных значений высоты надводного борта для обеспечения безопасного плавания судна является обязательным, поэтому на бортах судов наносят рейки углубления. *Рейкой углубления* называют шкалу осадок, размеченную через 5 см и наносимую на носовой и кормовой оконечностях судна обычно в зоне носового и кормового перпендикуляров.

Для судов смешанного реки — море плавания класса М-СП грузовая марка (см. рис. 17) имеет свои особенности. Основная осадка при плавании судна летом обозначена грузовой маркой с буквой Л. Дополнительно указаны грузовые марки для плавания судна зимой З и в пресной воде П. В сторону кормы от мидель показывают допустимые осадки при плавании в бассейнах разрядов О и М.

Речным Регистром РСФСР для судов внутреннего плавания, выходящих в прибрежные морские районы с соленой водой, устанавливаются грузовые марки с пониженной осадкой.

Таким образом запас плавучести является важнейшей характеристикой непотопляемости судна, так как он определяет количество воды, поступление которой при аварии выдерживает судно до полного погружения.

19. ГРУЗОВАЯ МАРКА ДЛЯ МОРСКИХ СУДОВ

Регистром СССР допустимая высота надводного борта гражданских морских судов, плавающих под флагом СССР, регламентируется Правилами о грузовой марке морских судов. Согласно правилам все морские суда делятся на два типа: А — суда, предназначенные для перевозки жидких грузов наливом; В — все остальные суда, не относящиеся к судам типа А.

Различают обычную международную грузовую марку и специальные грузовые марки, которые наносят на борта некоторых специальных судов, помимо обычной (лесовозы, пассажирские) или взамен ее (нефтеналивные суда).

Грузовую марку морских судов наносят следующим образом (рис. 18). На каждом борту в середине длины судна проводят горизонтальную палубную линию длиной 300 мм по линии пересечения верхней поверхности палубы с наружной поверхностью бортовой обшивки. Если на главной палубе имеется деревянный настил, то верхнюю кромку палубной линии проводят по линии пересечения наружной поверхности деревянного настила с наружной поверхностью бортовой обшивки.

Знак грузовой марки представляет собой кольцо наружным диаметром 300 мм, которое пересекается горизонтальной линией длиной 450 мм так, что верхняя кромка этой линии проходит через центр кольца. Центр кольца помещается на миделе корпуса судна ниже верхней кромки палубной линии на расстоянии, равном высоте летнего надводного борта. Над горизонтальной линией по сторонам кольца наносят знак организации, назначившей грузовую марку. Знак Регистра СССР состоит из букв Р и С высотой 115 мм и шириной 75 мм.

На расстоянии 540 мм от центра круга к носу судна вычерчивают вертикальную линию с отходящими от нее горизонтальными линиями длиной 230 мм — грузовыми марками. Эти марки отмечают положе-

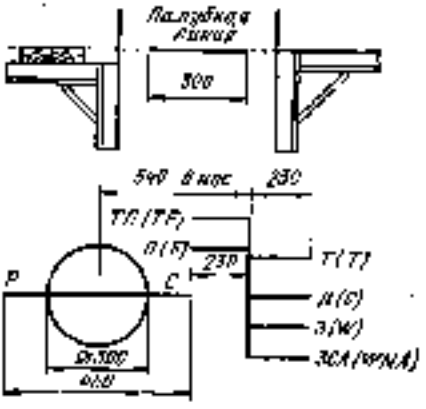


Рис. 18. Международная грузовая марка

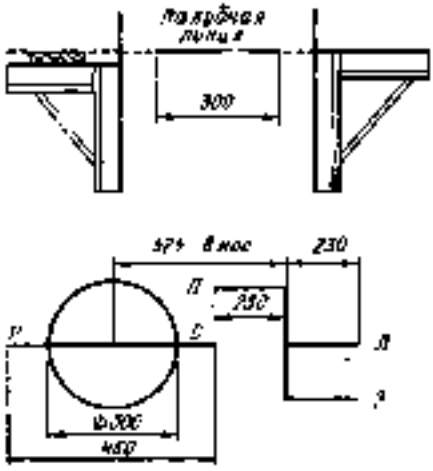


Рис. 19. Грузовая марка судов каботажного плавания

нике предельных грузовых ватерлиний при нахождении судна в различных районах плавания с учетом сезонных периодов.

В международную грузовую марку входит следующий ряд марок (латинские буквы в скобках — условное обозначение грузовых марок на иностранных судах):

Л (S) — летняя грузовая марка, определяющая минимальную высоту надводного борта судна для летнего плавания в морской воде;

З (W) — зимняя грузовая марка, соответствующая минимальной высоте надводного борта судна для зимнего плавания; положение марки по высоте получают увеличением высоты летнего надводного борта на 1/48 летней осадки.

ЗСА (WNA) - зимняя грузовая марка при плавании в Северной Атлантике для судов длиной менее 100,5 м, обозначающая увеличение высоты надводного борта по сравнению с обычной зимней маркой на 50 мм; для судов длиной более 100,5 м наносят только зимнюю грузовую марку;

Т (T) — тропическая грузовая марка, определяет минимальную высоту надводного борта для плавания в тропической зоне, которую устанавливают меньше на 1/48 летней осадки летнего надводного борта в связи с более благоприятными условиями плавания;

П (F) — грузовая марка для пресной воды, наносимая в направлении к корме от вертикальной линии и определяющая минимальную высоту надводного борта судна при плавании в пресной воде; положение марки по высоте определяют путем уменьшения летней минимальной высоты надводного борта на значение изменения осадки при переходе из морской воды в пресную.

ТП (TF) — тропическая марка для пресной воды, устанавливающая минимальную высоту надводного борта при плавании судна в пресной воде в тропической зоне; положение марки по высоте получают уменьшением минимального надводного борта в тропической зоне (Т) на изменение осадки при переходе из морской воды в пресную.

Грузовые морские суда, предназначенные для перевозки на палубе лесных грузов, кроме перечисленных грузовых марок, имеют лесную грузовую марку, которую наносят слева от знака грузовой марки.

Судам, совершающим международные рейсы, Регистром СССР выдается Международное свидетельство о грузовой марке на русском и английском языках.

Регистром СССР введена специальная грузовая марка для морских судов внутреннего (каботажного) плавания, т. е. не выходящих в заграничное плавание (рис. 19). Она имеет некоторые особенности по сравнению с международной грузовой маркой. Внутри круга — знака грузовой марки — проведена через центр дополнительная вертикальная линия толщиной 25 мм. Буквенные значения грузовых марок аналогичны международной грузовой марке. Минимальная высота надводного борта судов устанавливается в зависимости от района плавания.

В зависимости от района плавания морские суда внутреннего плавания подразделяют на следующие:

суда неограниченного плавания;

суда ограниченного района плавания I (открытые моря с удалением от мест убежищ до 200 миль; закрытые моря — без ограничений);

суда ограниченного района плавания II (открытые моря с удалением от мест убежищ до 50 миль; закрытые моря с установлением границ каждого района);

суда ограниченного района плавания III (прибрежного плавания с установлением границ для каждого района, портовые, рейдовые).

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите два условия равновесия судна в спокойной воде.
2. Дайте определение дедвейта судна.
3. Назовите важнейшие свойства строевой по шпангоутам.
4. Пользуясь строевой по ватерлиниям (см. рис. 11, б), определите водоизмещение судна для заданной осадки.
5. По грузовой шкале теплохода «Волго-Дон» (см. рис. 13) определите полную грузоподъемность судна при осадке 3,25 м.
6. Какой груз считается малым в расчетах осадки судна при приеме или снятии груза?
7. Чем вызвано изменение осадки судна при переходе его из пресной воды в морскую и как эта осадка изменяется?
8. Что такое запас плавучести судна?
9. С какой целью наносится на борт судна знак грузовой марки?
10. Почему при плавании судна в северных условиях минимальная высота надводного борта, заданная грузовой маркой, больше, чем при плавании в районах разряда Р?

Глава IV

ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА

20. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одним из важнейших навигационных качеств судна является остойчивость. В реальных условиях плавания, кроме силы тяжести и силы поддержания, на судно действуют дополнительные силы, например

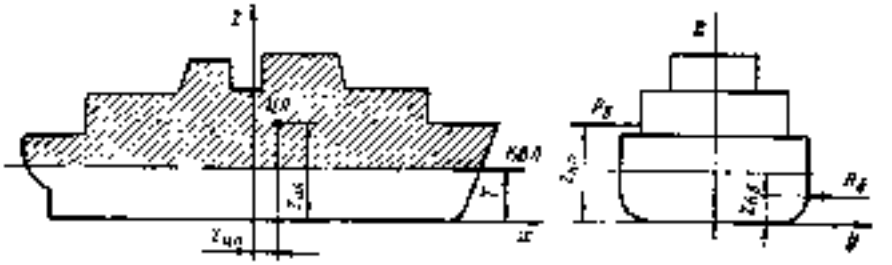


Рис. 20. Возникновение кренящего момента

сила ветра на надводную поверхность судна. Практика судовождения знает случаи опрокидывания судов при перемещении в трюме сыпучих или плохо закрепленных единичных грузов. Отсюда следует, что, для того чтобы судно плавало в заданном равновесии, недостаточно, чтобы оно удовлетворяло только основным уравнениям плавучести (формула (20)). Оно должно сопротивляться также внешним силам, стремящимся вывести его из положения равновесия.

Остойчивостью называют способность судна, отклоненного от положения равновесия действием внешних сил, возвращаться в первоначальное положение после прекращения действия этих сил.

Остойчивость зависит от формы корпуса и положения ЦТ судна. Поэтому путем правильного выбора формы корпуса при проектировании и правильного размещения грузов на судне при эксплуатации можно обеспечить достаточную остойчивость, гарантирующую предотвращение опрокидывания судна при любых условиях плавания.

Остойчивость при поперечных наклонениях, т. е. при крене, называют *поперечной*. Поперечную остойчивость в зависимости от угла крена делят на начальную при малых (до 10—15°) углах крена и остойчивость при больших углах крена.

Наклонения судна происходят под действием пары сил. Момент этой пары сил, вызывающий поворот судна вокруг продольной оси, называют *кренящим моментом* — $M_{кр}$. Рассмотрим пример образования кренящего момента от воздействия на судно ветра (рис. 20). Сила ветра, приложенная в ЦТ площади надводной части судна (площади парусности), вызывает его боковое движение (дрейф), а совместно с силой, возникающей от сопротивления воды $R_б$, приводит к появлению кренящего момента:

$$M_{кр} = P_в l_{кр}, \qquad (43)$$

где $M_{кр}$ — кренящий момент, кН · м; $P_в$ — сила действия ветра, кН; $l_{кр}$ — плечо кренящей пары, м.

Плечо кренящей пары $l_{кр}$ зависит от формы корпуса судна и в практических расчетах определяется в соответствии с указаниями Речного Регистра в зависимости от ширины корпуса, осадки и положения центра парусности судна.

Действию кренящего момента препятствует *восстанавливающий момент* $M_в$, который характеризует способность судна сопротивляться внешним воздействиям.

По характеру действия внешних сил, вызывающих наклонения судна, различают статическую и динамическую остойчивость. Если кренящий момент нарастает от нуля до конечного значения постепенно и не вызывает угловых ускорений, а следовательно, и сил инерции, то остойчивость при таком наклонении называют *статической*. Если же кренящий момент действует на судно внезапно, то возникают угловое ускорение и сила инерции, а остойчивость при таком наклонении называют *динамической*.

21. ПОПЕРЕЧНЫЙ МЕТАЦЕНТР И МЕТАЦЕНТРИЧЕСКИЙ РАДИУС

При решении задач остойчивости судна принимают условие, что его водоизмещение остается постоянным, а изменяется лишь форма погруженного в воду объема корпуса. *Наклонения* судна, при которых объем подводной части корпуса остается постоянным, называют *равнообъемными*. *Ватерлинии*, соответствующие равнообъемным наклонениям, также называют *равнообъемными*.

Согласно теореме Эйлера две равнообъемные ватерлинии при наклонении судна на бесконечно малый угол пересекаются между собой по линии, проходящей через центры тяжести их площадей. Эта линия является осью статического наклонения судна. На рис. 21, *а* линия пересечения двух равнообъемных ватерлиний B_0T_0 и B_1T_1 проецируется в точку 0.

Если в исходном положении судно имело прямую посадку (B_0T_0), то под действием кренящего момента $M_{кр}$ оно получает поперечное наклонение на малый угол θ и центр величины перемещается из точки C

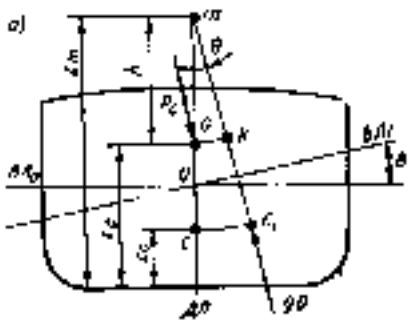
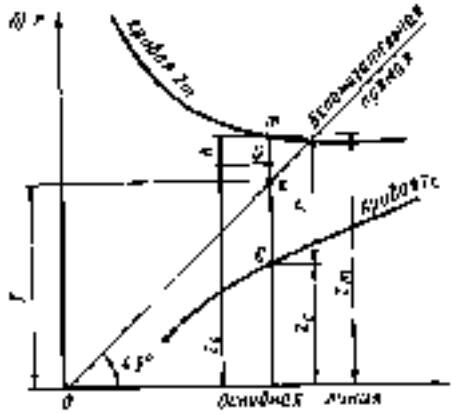


Рис. 21. Возникновение восстанавливающего момента и метацентрическая диаграмма



в точку C_1 по некоторой кривой, называемой *траекторией центра величины*.

Центр кривизны траектории ЦВ (точка m) называют *поперечным метацентром*. При малых углах крена траектория ЦВ может быть принята за дугу окружности, а поперечный метацентр можно считать расположенным в постоянной точке m на диаметральной плоскости судна.

Расстояние от поперечного метацентра до центра величины называют *поперечным, или малым, метацентрическим радиусом*: $r = mC = mC_1$.

Поперечный метацентрический радиус может быть вычислен по формуле

$$r = \frac{I}{V}, \qquad (44)$$

где I — момент инерции площади ватерлинии относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести этой площади, м⁴; V — объемное водоизмещение, соответствующее этой ватерлинии, м³.

Моментом инерции площади относительно оси называют сумму произведений площадей элементарных площадок на квадрат расстояния от их центра тяжести до оси.

Для ускорения определения значений аппликаты поперечного метацентра и поперечного метацентрического радиуса при любой осадке и водоизмещении судна можно составить специальную диаграмму (рис. 21, *б*). При построении диаграммы используют значения аппликат центра величины z_C и поперечных метацентрических радиусов r для нескольких осадок судна.

Поперечный метацентрический радиус по диаграмме определяют следующим образом. На вертикальной оси откладывают фактическую осадку T судна и проводят горизонтальную линию до пересечения со вспомогательной прямой. Через полученную точку пересечения K проводят вертикальный отрезок до пересечения с кривыми z_C и z_m. Получают точки C и m. Отрезок от горизонтальной оси до точки C даст значение аппликаты центра величины z_C, а отрезок от горизонтальной оси до точки m — значение аппликаты поперечного метацентра z_m (h — поперечная метацентрическая высота). Поперечный метацентрический радиус определяется как разность аппликат z_m и z_C, т.е.

$$r = z_m - z_C. \qquad (45)$$

22. УСЛОВИЯ ОСТОЙЧИВОСТИ. ПОПЕРЕЧНАЯ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКАЯ ВЫСОТА

Судно, находящееся в положении равновесия и имеющее посадку по ватерлинии $ВЛ_0$ (рис. 22), в результате действия внешнего кренящего момента $M_{кр}$ накренится на малый угол $\delta\theta$. При этом условия

обозначим новую ватерлинию $RЛ_1$ и назовем ее действующей, а ватерлинию $БЛ_0$ — начальной.

В связи с изменением формы погруженной в воду части корпуса и перераспределения сил, обусловленных гидростатическим давлением, центр величины судна переместится в сторону крена и перейдет из точки C в точку C_1. Сила поддержания $P_п = gD$ останется неизменной и будет направлена перпендикулярно действующей ватерлинии. Сила тяжести судна $P_с$ будет также перпендикулярна действующей ватерлинии.

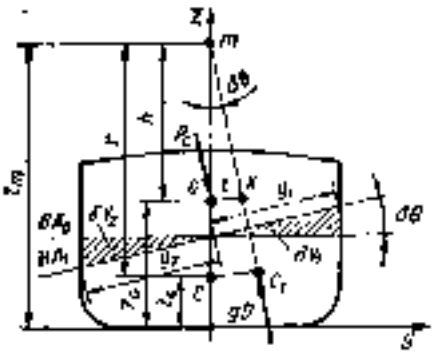


Рис. 22. Элементы начальной остойчивости

Силы поддержания gD и тяжести судна $P_с$ параллельны друг другу, образуют пару с плечом $\overline{GK} = l$, стремящуюся возвратить судно в первоначальное положение равновесия. Момент этой пары называется восстанавливающим моментом, равным

$$M_в = g D l, \tag{46}$$

где l — плечо восстанавливающего момента, м.

Из треугольника mGK

$$l = \overline{mG} \sin\theta = h \sin\theta, \tag{47}$$

где θ — угол крена, рад; h — поперечная метацентрическая высота, м.

Тогда

$$M_в = g D h \sin\theta. \tag{48}$$

При малых углах крена $\sin\theta \approx \theta$,

$$M_в = g D h \theta. \tag{49}$$

Поперечной метацентрической высотой h называют возвышение поперечного метацентра m над центром тяжести при прямом положении судна, т. е. расстояние между метацентром и центром тяжести. Поперечная метацентрическая высота является важнейшей характеристикой остойчивости судна.

Формулу (48) называют метацентрической формулой поперечной остойчивости.

Условие статического равновесия судна выражается равенством кренящего и восстанавливающего моментов: $M_{кр} = M_в$.

Тогда выражение (49) можно записать в виде

$$M_{кр} = g D h \theta \tag{50}$$

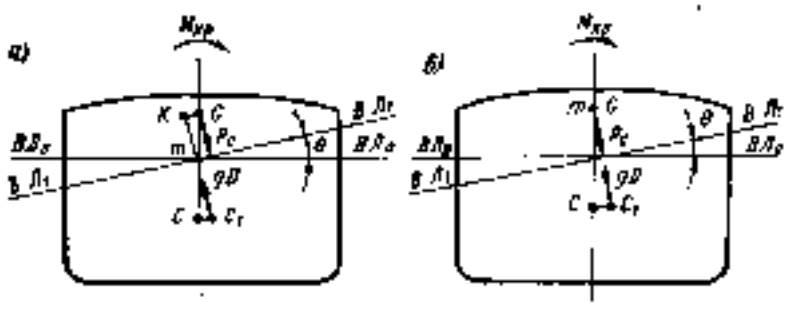


Рис. 23. Судно в неостойчивом и безразличном положениях

и определить из него угол крена, град,

$$\theta = \frac{360}{\pi} \frac{M_{кр}}{g D h} = 57{,}3 \frac{M_{кр}}{g D h}. \quad (51)$$

Если в выражении (51) принять $\theta = 1°$, то можно определить кренящий момент, необходимый для образования крена судна на 1°:

$$M_{кр} = \frac{g D h}{57{,}3}. \quad (52)$$

Из метацентрической формулы остойчивости (48) видно, что восстанавливающий момент прямо пропорционален метацентрической высоте, которую называют показателем остойчивости.

Из рис. 22 взаимное положение метацентра m, центра тяжести G и центра величины C может быть записано в виде уравнений:

$$h = r + z_C - z_G; \; h = z_m - z_G. \quad (53)$$

Судно обладает положительной остойчивостью, если метацентр расположен выше центра тяжести судна ($z_m > z_G$) или если метацентрическая высота больше нуля ($h > 0$).

Если метацентр расположен ниже центра тяжести, то по формуле (53) $h < 0$ и момент пары сил P_c и gD будет отрицательным, т. е. способствующим дальнейшему наклонению судна. Такое судно является неостойчивым (рис. 23, *а*).

Если метацентр совпадает с центром тяжести (рис. 23, *б*), то метацентрическая высота и восстанавливающий момент равны нулю. В этом случае судно не способно возвратиться в исходное положение, оно находится в состоянии безразличного равновесия и также считается неостойчивым.

Уже на стадии проектирования судну задают определенную начальную остойчивость. Для улучшения начальной остойчивости метацентрическая высота должна иметь максимальное значение. Однако при увеличении метацентрической высоты выше критического значения становится резкой бортовая качка. Исходя из этого для метацентриче-

ской высоты выбирают оптимальное значение, необходимое для обеспечения безопасности плавания данного судна.

Значение метацентрической высоты в зависимости от типа судна может быть от 0,6 до 20 м. Небольшие винтовые теплоходы имеют метацентрическую высоту 0.6—0.8 м, буксиры-толкачи 0.8—2.7 м, грузовые теплоходы и танкеры 2.4—4.9 м, пассажирские суда 3—6 м, баржи 2—20 м.

23. ИЗМЕНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗА НА СУДНЕ

Вертикальное перемещение груза. Определим изменение посадки и остойчивости судна, вызванное перемещением малого груза q в вертикальном направлении (рис. 24) из точки A_1 в точку A_2. Поскольку масса груза не меняется, то и водоизмещение судна остается неизменным. Следовательно, соблюдается первое условие равновесия: $P_c = gD$.

Из теоретической механики известно, что при перемещении одного из тел центр тяжести всей системы материальных тел перемещается в том же направлении. Следовательно, центр тяжести судна G переместится в точку G_1, а сама вертикаль пройдет, как и прежде, через центр величины C.

Будет соблюдено второе условие равновесия: $x_G = x_{G_1}$; $y_G = y_{G_1}$.

Так как в нашем случае оба условия равновесия соблюдены, то можно сделать вывод: при вертикальном перемещении груза судно не изменяет своего положения равновесия.

Рассмотрим изменение начальной поперечной остойчивости. Так как формы погруженного в воду объема корпуса судна и площади ватерлинии не изменились, то положение центра величины C и поперечного метацентра при перемещении груза по вертикали остается неизменным. В соответствии с изложенным перемещается только центр тяжести судна из точки G в точку G_1 (см. рис. 24), что повлечет уменьшение метацентрической высоты $h_1 = h - \overline{GG_1}$, а также $\overline{GG_1} = l_1 \cdot P_q/(gD)$, откуда

$$\overline{GG_1} = \frac{P_q}{gD} l_1,$$

где P_q — вес перемещаемого груза, кН; l_1 — расстояние, на которое переместился центр тяжести груза в вертикальном направлении, м.

Новое значение поперечной метацентрической высоты при перемещении груза в вертикальном направлении

$$h_1 = h \pm \frac{P_q l_1}{gD}. \qquad (54)$$

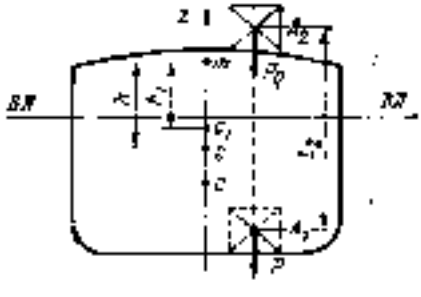


Рис. 24. Влияние перемещения груза на изменение метацентрической высоты

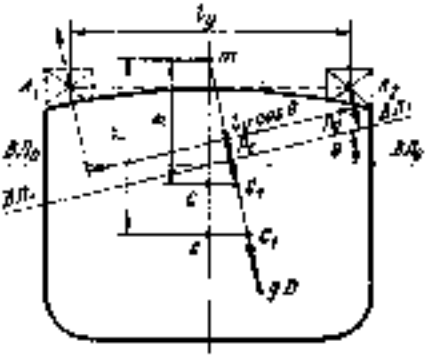


Рис 25 Возникновение кренящего момента при поперечном перемещении груза

где знак плюс применяется при перемещении груза вверх, минус вниз.

Из формулы (54) видно, что перемещение груза в вертикальном направлении вверх вызывает уменьшение поперечной остойчивости судна, а при перемещении груза вниз поперечная остойчивость увеличивается.

Изменение остойчивости равно произведению веса перемещаемого груза P_q на его перемещение по высоте l_z. Изменение поперечной остойчивости будет относительно меньше у судна с бо́льшим водоизмещением, чем у судна с малым, поэтому на судах с большим водоизмещением перемещение грузов безопаснее, чем на малых судах.

Поперечное горизонтальное перемещение груза. Перемещение груза q из точки A_1 в точку A_2 (рис. 25) на расстояние l_y вызовет крен судна на угол θ и смещение его центра тяжести в направлении, параллельном линии перемещения груза. Накренившись на угол θ, судно приходит в новое положение равновесия, сила тяжести судна P_q, приложенная теперь в точке G_1, и сила поддержания gD, приложенная в точке C_1, действуют по одной вертикали, перпендикулярной новой ватерлинии $B\Pi_1$.

Перемещение грузов приводит к образованию кренящего момента:

$$M_{кр} = P_q l_y \cos\theta,$$

где l_y — плечо перемещения груза, м.

Восстанавливающий момент по метацентрической формуле остойчивости

$$M_в = g D h \sin\theta.$$

Так как судно находится в равновесии, то $M_{кр} = M_в$ и

$$P_q l_y \cos\theta = g D h \sin\theta,$$

откуда угол крена при поперечном перемещении груза

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{P_q l_y}{g D h}.$$

Так как угол крена мал, то

$$\theta = \frac{P_q l_y}{g D h}. \qquad (55)$$

Если судно уже имеет начальный угол крена, то после горизонтального перемещения груза угол крена будет

$$\theta_1 = \theta_0 + \frac{P_q l_y}{\rho D h}. \tag{56}$$

24. ИЗМЕНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ И ПОСАДКИ СУДНА ПРИ ПРИЕМЕ И СНЯТИИ ГРУЗА

Рассмотрим процесс приема малого груза q на судно в точку с заданной ватерлинии z_q на вертикали, проходящей через центр тяжести площади действующей ватерлинии (рис. 26, *а*). В этом случае судно не получает ни крена, ни дифферента, однако изменяются его осадка и начальная остойчивость.

До приема груза судно имело водоизмещение D и осадку T. После приема груза массовое и объемное водоизмещения стали соответственно:

$$D_1 = D + q; \tag{57}$$

$$V_1 = V + \Delta V = \frac{D+q}{\rho}. \tag{58}$$

Изменились точки, характеризующие поперечную остойчивость. Центр величины C из-за изменения осадки судна, а следовательно, формы погруженного в воду объема корпуса переместился в точку C_1, а

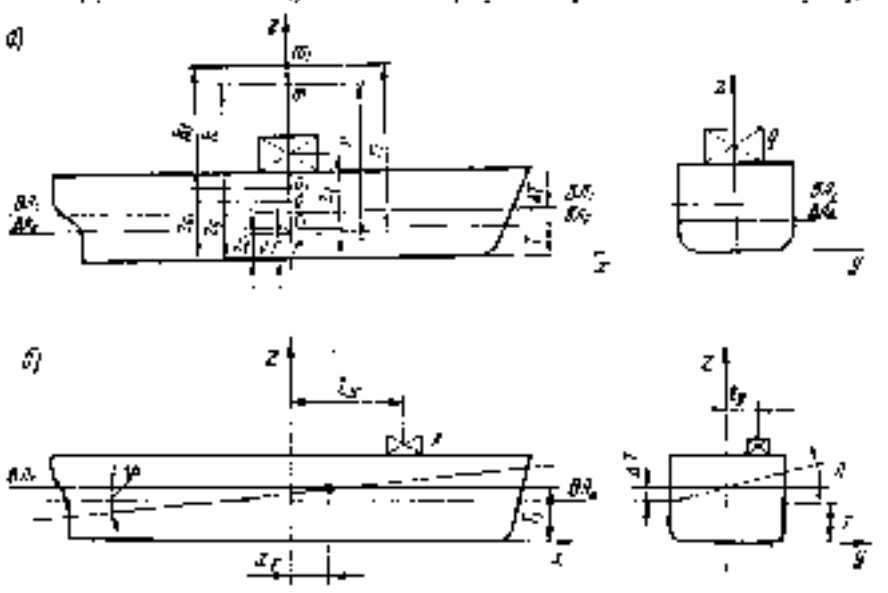


Рис. 26. Изменение посадки и остойчивости судна при приеме груза

центр тяжести G вследствие изменения веса судна с дополнительным грузом — в точку G_1. Поперечный метацентр m вследствие изменения объема V подводной части корпуса переместился в точку m_1. Новое положение этих точек определяется аппликатами z_{G_1} и z_{C_1}, а также новым значением поперечного метацентрического радиуса r_1.

Приращение поперечной метацентрической высоты будет равно сумме приращений отдельных слагаемых:

$$\Delta h = \Delta r - \Delta z_C - \Delta z_G. \tag{59}$$

Приращение метацентрического радиуса

$$\Delta r = r_1 - r = \frac{J_{x_1}}{V + \Delta V} - \frac{J_x}{V}. \tag{60}$$

Так как мы условились считать принятый груз q малым, площади и моменты инерции площадей ватерлиний до и после приема груза можно считать одинаковыми, т. е. $J_{x_1} = J_x$. С учетом этого выражение (60) примет вид

$$\Delta r = -\frac{q}{D+q} r. \tag{61}$$

Приращение аппликаты центра величины

$$\Delta z_C = z_{C_1} - z_C = \frac{q}{D+q}\left(T + \frac{\Delta T}{2} - z_C\right). \tag{62}$$

Приращение аппликаты центра тяжести судна

$$\Delta z_G = z_{G_1} - z_G = \frac{q}{D+q}(z_q - z_G). \tag{63}$$

Подставив в выражение (59) значения Δr, Δz_C и Δz_G, найдем приращение поперечной метацентрической высоты:

$$\Delta h = -\frac{q}{D+q}\left(T + \frac{\Delta T}{2} - z_q - r - z_C - z_G\right) \tag{64}$$

или при приеме или снятии груза

$$\Delta h = -\frac{\pm q}{D \pm q}\left(T \pm \frac{\Delta T}{2} - h - z_q\right). \tag{65}$$

Поперечная метацентрическая высота после приема или снятия груза

$$h_1 = h \pm \Delta h = h + \frac{\pm q}{D \pm q}\left(T \pm \frac{\Delta T}{2} - h - z_q\right), \tag{66}$$

где знак плюс ставится в случае приема груза, минус — снятия.

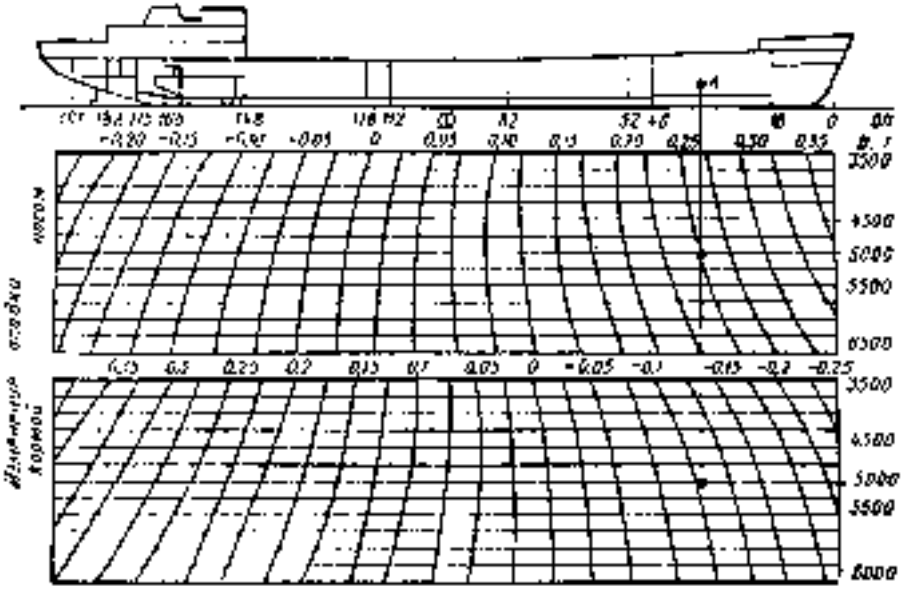


Рис. 27. Определение посадки судна при приеме груза

Приравняв к нулю выражение в скобках формулы (66), можно проанализировать изменение остойчивости при приеме или снятии груза: $T \pm \Delta T/2 - h - z_g = 0$, откуда

$$z_g = T \pm \frac{\Delta T}{2} - h. \tag{67}$$

Полученное равенство является уравнением плоскости, параллельной основной плоскости и расположенной выше нее на расстоянии z_g. Эту плоскость принято называть *нейтральной*.

В случае приема груза, если $z_g < T + \Delta T/2 - h$, то $\Delta h > 0$ и $h_1 > h$. Следовательно, при приеме малого груза ниже нейтральной плоскости остойчивость судна увеличивается. А если $z_g > T \pm \Delta T/2 - h$, то $\Delta h < 0$ и $h_1 < h$, т. е. при приеме малого груза выше нейтральной плоскости остойчивость судна уменьшается.

В случае снятия груза, если $z_g < T - \Delta T/2 - h$, то $\Delta h > 0$ и $h_1 < h$. При снятии малого груза ниже нейтральной плоскости остойчивость судна уменьшается. А если $z_g > T - \Delta T/2 - h$, то $\Delta h < 0$ и $h_1 > h$, т. е. при снятии малого груза выше нейтральной плоскости остойчивость судна увеличивается.

Если груз A принят со смещением от ДП на расстояние l_y и от мидель на расстояние l_x, то судно получит крен на угол θ и дифферент

на угол φ и новую увеличенную осадку T_1 (рис. 26, *б*). Угол крена

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{P_q l_к}{g D h}, \tag{68}$$

Осадка правым (левым) бортом

$$T_{б(л)} = T \pm 0{,}5\, T \pm \frac{B}{2} \operatorname{tg}\theta. \tag{69}$$

Исходя из геометрических правил осадка при приеме груза носом и кормой соответственно:

$$T_н = T_н + \Delta T - \left(\frac{L}{2} - x_f\right) \operatorname{tg}\varphi;$$

$$T_к = T + \Delta T - \left(\frac{L}{2} - x_f\right) \operatorname{tg}\varphi.$$

В судовых документах имеются графики для определения осадки судна при приеме или снятии груза (рис. 27). В данном примере при массовом водоизмещении судна 5000 т дополнительно в точку A принимают груз массой 200 т. Осадка носом увеличится на $200 \cdot 0{,}25/100 = -0{,}5$ м, а кормой уменьшится на $200 \cdot 0{,}11/100 - 0{,}22$ м. Здесь величины 0,25 и 0,11 определены по графику, а 1/100 — переводной коэффициент из сантиметров в метры.

25. ВЛИЯНИЕ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ ПОДВИЖНЫХ ГРУЗОВ

Общие сведения. К подвижным относят подвешенные, жидкие и сыпучие грузы. Все они при наклонении вызывают появление дополнительных моментов, приводящих к увеличению наклонений, что очень важно знать при эксплуатации судов.

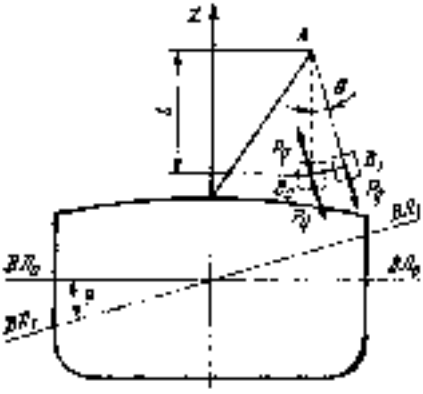


Рис. 29. Возникновение кренящего момента при наличии подвешенного груза

Подвешенный груз. Груз массой q, центр тяжести которого при прямом положении судна находится в точке B_0, подвешен в точке A (рис. 28). При крене судна под воздействием кренящего момента $M_{кр}$ на угол θ этот груз, если он не закреплен, переместится из точки B_0 в точку B_1. Приложив в точке B_0 две противоположные силы P_q, направленные параллельно линии AB_1, сведем действие груза на судно к силе P_q, приложенной в точке B_0, и дополнительному кренящему моменту,

равному

$$\Delta M_{кр} = P_q \overline{B_0 B_1} = P_q l \sin\theta,$$

где l — возвышение точки подвеса A над истинным положением центра тяжести груза B_0.

Условие равновесия судна под действием кренящего и восстанавливающего моментов будет иметь вид

$$\left.\begin{aligned} &M_{кр} + \Delta M_{кр} = g D h_0 \sin\theta; \\ &M_{пр} + P_q l \sin\theta = g D h_0 \sin\theta; \\ &M_{пр} = g D \left(h_0 - \frac{P_q}{gD} l\right) \sin\theta, \end{aligned}\right| \qquad (70)$$

где h_0 — метацентрическая высота судна, определенная при условии, что центр тяжести груза q находится в точке B_0.

Выражение в скобках формулы (70) представляет собой новое значение метацентрической высоты судна при наличии подвешенного груза:

$$h_1 = h_0 - \frac{P_q l}{g D}. \qquad (71)$$

Выражение $P_q l/(gD)$ $= \Delta h$ можно рассматривать как поправку к метацентрической высоте на влияние подвешенного груза.

Следовательно, влияние подвешенного незакрепленного груза на остойчивость равноценно влиянию такого же неподвижного груза q, центр тяжести которого мысленно перемещен из точки B_0 в точку подвеса A. Это влияние учитывается уменьшением метацентрической высоты на $\Delta h = P_q l/(gD)$, поэтому при приеме или снятии незакрепленных подвешенных грузов (например, у плавучих кранов) метацентрическую высоту следует вычислять по формуле (66), а угол крена — по формуле (68), принимая в них координаты y_c и z_c равными координатам оголовка стрелы, т. е. точки подвеса A.

Дальнейшее изменение расстояния l между точкой подвеса A и ЦТ груза при его подъеме или опускании не влияет на остойчивость судна, если точка A не изменяет своего положения.

Жидкий груз со свободной поверхностью. На всех самоходных судах имеется жидкий груз (нефтепродукты на танкерах, пресная вода, топливо, балластная вода). Если жидкий груз полностью заполняет отведенный для него отсек или цистерну, то при наклонениях судна он будет вести себя как твердый закрепленный груз.

Во время эксплуатации судов отдельные цистерны оказываются заполненными не полностью, т. е. жидкий груз имеет свободную поверхность. Наклонение судна вызывает перетекание груза, а это влечет за собой изменение его посадки и остойчивости.

Рассмотрим пример, когда судовая цистерна частично заполнена водой (рис. 29, *а*). При наклонении судна центр тяжести жидкого гру-

за $q_{ш}$ перемещается из точки K в точку K_1. Точку K можно рассматривать как центр величины жидкого объема $V_{ш}$, точку A следует уподобить метацентру объема $V_{ш}$, а расстояние $\overline{AK}$ — метацентрическому радиусу r. Тогда

$$\overline{AK} = r = \frac{i_x}{V_{ж}},$$

где i_x — момент инерции площади свободной поверхности жидкого груза в отсеке относительно собственной центральной оси наклонения этой поверхности при крене судна, м⁴; $V_{ш}$ — объем жидкого груза, м³.

Приложив в точке K две противоположные силы $P_{ж} = g q_{ш}$, направленные параллельно линии AK, сведем действие жидкого груза на судно к силе $P_{ж}$ и дополнительному кренящему моменту:

$$\Delta M_{кр} = P_{ш} \overline{KK_1}. \tag{72}$$

Из треугольника AKK_1

$$\overline{KK_1} = \overline{AK} \sin\theta = \frac{i_x}{V_{ж}} \sin\theta. \tag{73}$$

Следовательно,

$$\Delta M_{кр} = P_{ж} \frac{i_x}{V_{ш}} \sin\theta = g_{ж} \rho_{ж} \frac{i_x}{V_{ж}} \sin\theta = \rho_{ш} g_{ш} i_x \sin\theta.$$

где $g_{ш}$, $\rho_{ш}$ — ускорение свободного падения, м/с², и плотность, т/м³, жидкости.

Тогда условие равновесия судна

$$\left.\begin{aligned} &M_{кр} + \Delta M_{кр} = M_{в} = g D h \sin\theta, \\ &\text{или} \\ &M_{кр} = D\left(h - \frac{\rho_{ш} i_x}{D}\right)\sin\theta. \end{aligned}\right\} \tag{74}$$

Величину в скобках можно рассматривать как новую метацентрическую высоту, а выражение $\rho_{ш} i_x / D = \Delta h_{ш}$ — как изменение начальной метацентрической высоты. Следовательно, свободная поверх-

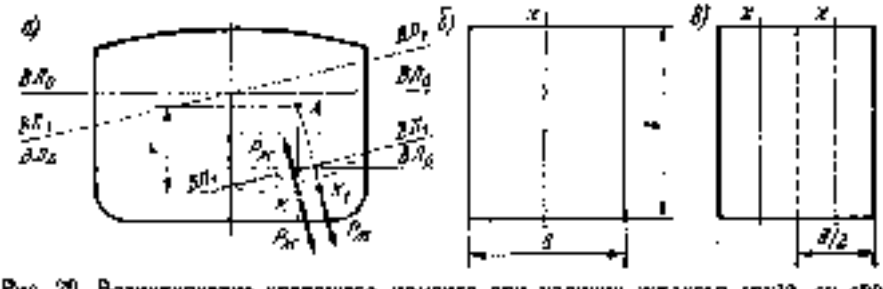


Рис. 29. Возникновение кренящего момента при наличии жидкого груза со свободной поверхностью

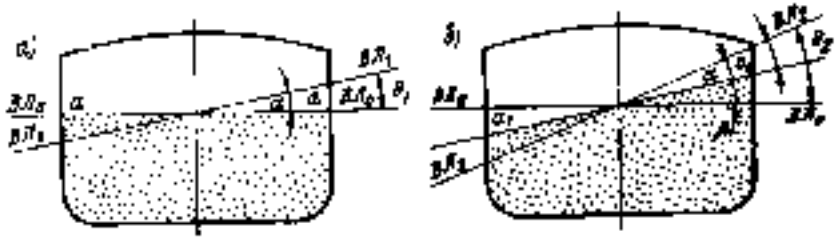


Рис. 30. Перемещение сыпучего груза при наклонении судна

ность жидкого груза, способного при наклонении судна перетекать, уменьшает его метацентрическую высоту на величину $\Delta h_{ж} = -\rho_{ж} i_x / D$, т. е. отрицательно сказывается на остойчивости судна.

Основное влияние на поправку оказывает момент инерции площади свободной поверхности жидкости. При большой площади момент инерции i_x, а следовательно, и поправка Δh могут быть столь велики, что поперечная метацентрическая высота может стать отрицательной.

Чтобы уменьшить влияние жидкого груза на поперечную остойчивость, в отсеках устанавливают продольные переборки. Если длина отсека l, а ширина B (рис. 29, *б*, *в*), то момент инерции площади всего отсека относительно продольной оси $i_x = lB^3/12$. Разделив отсек одной продольной переборкой на две равные части, суммарный момент инерции двух отсеков будет

$$\Sigma i_x = 2\frac{l(B/2)^3}{12} = \frac{lB^3}{48}. \qquad (75)$$

Постановка непроницаемых переборок уменьшает отрицательные влияния свободной поверхности жидкого груза на остойчивость пропорционально квадрату числа получающихся отсеков. Поэтому для уменьшения влияния свободной поверхности на поперечную остойчивость корпус танкера делят продольными переборками, стремясь к тому, чтобы во время эксплуатации отсеки были заполнены грузом не менее чем на 95 % объема.

Навалочный сыпучий груз. К навалочным относятся грузы, которые складывают на судно без специальной укладки и распределения (зерно, каменный уголь, железная руда, бокситы, глинозем и т.д.). При наклонениях судна эти грузы смещаются подобно жидкости, если есть свободная поверхность и их перемещение не ограничено. Но влияние таких грузов на остойчивость имеет свои особенности. Смещение груза возможно только при углах наклонения, превышающих угол естественного откоса. Этот угол определяется углом крутизны, при котором находящийся в пирамиде груз остается в покое.

Примем для упрощения, что поверхность груза ab совпадает с ватерлинией $BЛ_0$ (рис. 30, *а*). При наклонении судна на угол крена θ_1, равный углу откоса α, груз пересыпаться не будет. Когда угол крена θ_2

станет больше угла покоя α (рис. 30, *б*), груз начнет пересыпаться, причем уровень поверхности груза a_1a_2 будет сохранять с плоскостью действующей ватерлинии BN, постоянный угол α.

Сыпучий груз смещается, как правило, слоем значительной толщины. Смещение вызывается ударом волны, местной вибрацией или какой-либо другой дополнительной причиной. Сместившийся груз при обратном наклонении судна в исходное состояние возвращается лишь частично. Инструкция для капитана по эксплуатации судна требует в случае образования такого крена немедленного установления вызвавшей его причины и следования благоприятным курсом в ближайший порт для устранения крена.

Безопасность перевозки зерна нормируется конвенцией по охране человеческой жизни на море и Регистром СССР. Для перевозки зерна установлены требования, учитывающие появление дополнительного кренящего момента от смещения зерна в различных случаях загрузки судна, в том числе при установке дополнительных временных переборок, называемых *шифтингбордсами*. Шифтингбордсы закладывают в специальные гнезда, устроенные в поперечных комингсах люка или в пиллерсах под ними, а в пролете упрочняют стойками, которые с помощью канатов с талрепами прикрепляют к бортам.

Для других навалочных грузов обеспечение безопасности перевозок определяется лишь общими организационными рекомендациями, на основании которых для каждого опасного в отношении смещения груза должен выполняться проверочный расчет по специальной методике. Специальные требования по перевозке включаются капитану в информацию об остойчивости.

26. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРЕНЯЩЕГО МОМЕНТА ОТ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ

От действия сил, обусловленных статическим давлением ветра на надводную часть судна, возникают кренящие моменты. Такое давление зависит от скорости ветра, высоты и площади надводной части судна и формы надстроек.

При определении кренящего момента от ветровой нагрузки направление ветра принимают перпендикулярным к ДП судна. Проекцию надводной части судна на ДП, подверженную давлению ветра, называют *площадью парусности* (см. рис. 20). Центр тяжести площади парусности называют *центром парусности* (ЦП).

Площадь парусности судна

$$S_{\text{пр}} = 1{,}05 \Sigma k_i S_{\text{пр}\,i}, \qquad (76)$$

где 1,05 — коэффициент, учитывающий площади лееров и судового такелажа; k_i — коэффициент, учитывающий степень обтекаемости этих частей (для надстроек $k_i = 0{,}8 \div 1$; для дымовых труб, рубок и вентиляторов $k_i = 0{,}6 \div 1$); $S_{\text{пр}\,i}$ — площадь парусности отдельных частей надводного корпуса и надстроек, м².

Аппликата центра парусности

$$z_{цп} = \frac{1,1\Sigma k_i S_{пр\,i} z_{цп\,i}}{\Sigma k_i S_{пр\,i}}, \qquad (77)$$

где 1,1 — коэффициент, учитывающий площади лееров и судового такелажа; $z_{цп\,i}$ — аппликата центра тяжести парусности отдельных частей надводного борта и надстроек.

Сила ветра $P_в$, приложенная в ЦП, вызывает боковое движение (дрейф) с некоторой постоянной скоростью, вследствие чего на подводную часть корпуса действует сила сопротивления воды дрейфу $R_д$, равная по значению, но противоположная по направлению силе $P_в$.

Эти две силы образуют кренящий момент:

$$M_{кр} = P_в l_{кр}, \qquad (78)$$

Плечо кренящей пары $l_{кр} = z_{цп} - T/2$, а сила действия ветра

$$P_в = 0,001 p_д S_{пр}, \qquad (79)$$

где $p_д$ — давление ветра, кПа.

В нормах Речного Регистра РСФСР давление ветра $p_д$ считают постоянным по всей площади парусности и равным его значению на уровне центра парусности. Его числовые значения получают по результатам статистической обработки данных наблюдений ветрового режима водоемов различных разрядов и класса плавания судна.

Подставив значения силы действия и плеча пары в формулу (78), получают

$$M_{кр} = 0,001 p_д S_{пр}\left(z_{цп} - \frac{T}{2}\right). \qquad (80)$$

Кренящий момент от ветровой нагрузки пропорционален площади парусности надводного борта корпуса и надстроек. При проектировании судна стремятся уменьшить площадь парусности надстроек и надводного борта, насколько позволяют заданные эксплуатационные характеристики судна и условия обитаемости экипажа.

27. ОСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ПОСАДКЕ НА ГРУНТ

Для выполнения расчетов по снятию судна с мели необходимо иметь информацию о посадке судна. Воздействие грунта на корпус равносильно снятию в точке касания груза, равного реакции грунта.

Пусть судно до посадки на мель имело водоизмещение D, осадки $T_н$ и $T_к$, начальную метацентрическую высоту h. После посадки на мель судно имеет новые осадки $T_{н1}$ и $T_{к1}$, угол крена θ (рис. 31). По этим данным определяют силу реакции грунта:

$$R_{гр} = \Delta T g \rho S_ш, \qquad (81)$$

где ΔT — изменение средней осадки судна после посадки его на мель, м; $S_ш$ — площадь ватерлинии, м².

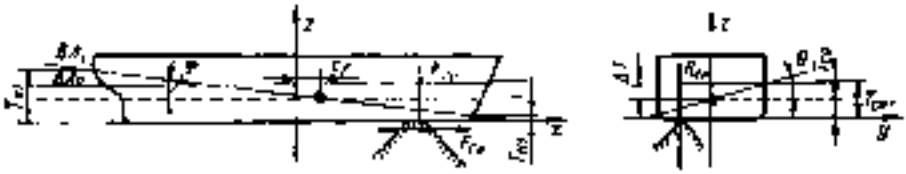


Рис. 31. Изменение осадки судна при посадке на мель

Изменение средней осадки после посадки судна на мель:

$$\Delta T = T_{ср_1} - T_{ср} = \frac{(T_{н1} + T_{к1}) - (T_н + T_к)}{2}. \qquad (82)$$

Если судно с мели снимается другим судном, то, вычислив по формуле (81) реакцию грунта при посадке на мель, можно определить потребную силу на гаке судна-спасателя, которая без учета повреждения корпуса будет равна силе удержания на грунте:

$$F_{гр} = f_т R_{гр},$$

где $f_т$ — коэффициент трения между корпусом судна и грунтом (принимают $f_т = 0{,}7 \div 0{,}9$).

Если нет водотечности корпуса и сила тяги судна-спасателя больше силы удержания судна на грунте, то судно может быть снято с мели без дополнительных мероприятий. В других случаях производят распаузку судна, размывание песчаных и илистых грунтов винтами других судов.

Действие грунта на корпус равносильно снятию с судна груза, центр тяжести которого расположен на днище. Исходя из этого определяют новое значение метацентрической высоты при посадке судна на мель:

$$h_1 = h - \frac{R_{гр}}{g D} \cdot R_{гр} \left(T - \frac{\Delta T_{ср}}{2} - h \right). \qquad (83)$$

Следовательно, снятие груза с днища вызывает уменьшение остойчивости.

Рассмотренные методы решения используют для определения силы реакции кильблоков при подъеме судна с помощью плавучего дока. Силу реакции кильблоков рассматривают как снимаемый с судна груз, координаты центра тяжести которого известны и равны координатам точки приложения реактивной силы кильблоков.

28. ПОДЪЕМ КОРМЫ СУДНА НА ПЛАВУ ДЛЯ РЕМОНТА ГРЕБНЫХ ВАЛОВ И ВИНТОВ

Для выполнения ремонта движительно-рулевого комплекса на плаву необходимо создать дифферент судна на нос. Эту задачу можно решить принятием в носовую часть корпуса балласта. При этом увеличивается средняя осадка судна (рис. 32, *а*):

$$\Delta T = \frac{q}{\rho S},$$

где q — масса принятого балласта, т; ρ — плотность воды, т/м³; S — площадь ватерлинии, м².

Дифферентующий момент, возникающий при приеме балласта,

$$M_{диф} = P_б l_x,$$

где $P_б$ — вес принятого балласта, кН; l_x — плечо центра тяжести принятого балласта, м.

Восстанавливающий момент

$$M_{вос} = H_L D \operatorname{tg} \psi,$$

где H — продольная метацентрическая высота, м; D — водоизмещение судна, т; ψ — необходимый угол дифферента, град.

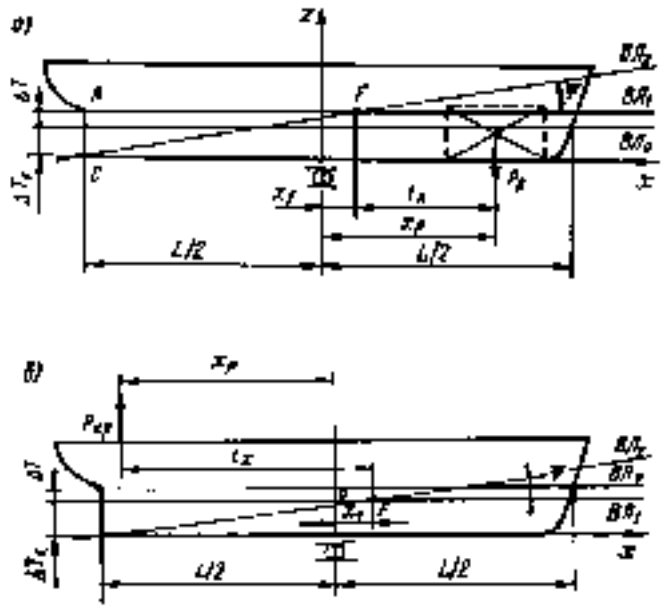


Рис. 32. Подъем кормы судна на плаву

Необходимый угол дифферента в данном случае определится из треугольника AFC:

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{\Delta T_{\text{н}} + \Delta T}{L/2 + x_f}, \tag{84}$$

где x_f — абсцисса центра площади грузовой ватерлинии, м; $\Delta T_{\text{н}}$ — наименьшее осадка кормой, м (определяется из условия, что винт судна выйдет на воды и есть возможность проводить его ремонт).

При выполнении условия равновесия $M_{\text{диф}} = M_{\text{пос}}$

$$P_{\text{б}} l_x = HgD \frac{\Delta T_{\text{н}} + \Delta T}{L/2 + x_f}, \tag{85}$$

откуда необходимый вес балласта

$$P_{\text{б}} = HgD \frac{\Delta T_{\text{н}} + \Delta T}{l_x (L/2 + x_f)}. \tag{86}$$

При замене гребных валов и винтов небольших судов можно корму поднимать краном (рис. 32, *б*). При этом осадка судна уменьшится на ΔT, новая ватерлиния обозначена $ВЛ_1$. Так как трос крана закреплен в кормовой части, то под воздействием силы подъема крана $P_{\text{кр}}$ судно получит дифферент на нос на угол ψ и новую ватерлинию $ВЛ_2$.

Сила подъема крана для получения необходимого изменения осадки по аналогии с формулой (86)

$$P_{\text{кр}} = HgD \frac{\Delta T_{\text{н}}}{l_x (L/2 + x_f) + \mu g D I (\rho S)}, \tag{87}$$

где $l_x = x_f - x_f$ — плечо действия силы подъема крана (здесь x_f — место закрепления троса подъемного крана, м).

29. ОСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ БОЛЬШИХ УГЛАХ КРЕНА СУДНА

При больших углах крена симметрия относительно ДП входящего и выходящего клиньев водоизмещения и наклоненной ватерлинии существенно нарушается. Поэтому траекторию центра величины $C C_1$ в плоскости миделя уже нельзя принять за дугу окружности (рис. 33).

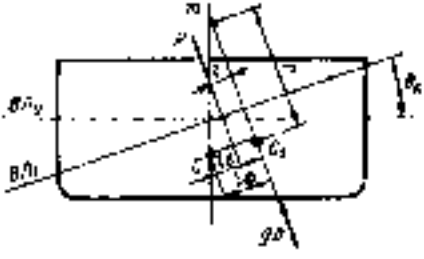


Рис. 33. Элементы остойчивости при больших углах крена

Поперечный метацентр при больших углах крена не остается в постоянной точке на ДП, как это было принято при малых углах крена, а смещается. Следовательно, и расстояние между метацентром и центром величины — поперечный метацентрический радиус — является переменной величиной. Значения момента инерции J_y бу-

дут различными для каждой действующей ватерлинии, поэтому метацентрическая высота не может служить критерием поперечной остойчивости и на практике уже нельзя пользоваться метацентрической формулой остойчивости для малых углов крена.

Абсолютным количественным измерителем остойчивости судна при больших углах крена является восстанавливающий момент:

$$M_{восс} = g D l = g D (l_\phi - l_в), \qquad (88)$$

где l — плечо восстанавливающего момента, м; l_ϕ, $l_в$ — плечи остойчивости формы и веса, м

Плечо восстанавливающего момента является относительным измерителем остойчивости судна при больших углах крена θ_n. Это плечо называют также плечом статической остойчивости.

Для решения вопросов остойчивости судна на больших углах крена используют диаграмму статической остойчивости.

30 ДИАГРАММА СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Диаграмма статической остойчивости выражает зависимость плеча статической остойчивости от угла крена (рис. 34). Диаграмму строят для конкретного судна. Она соответствует определенному водоизмещению и является важнейшим судовым документом, необходимым для оценки остойчивости. Каждое судно снабжается комплектом диаграмм статической остойчивости для наиболее часто встречающихся случаев загрузки.

Кривая диаграммы статической остойчивости имеет три характерные точки: точку O, определяющую положение устойчивого равновесия ($l = 0$); точку A, где плечо статической остойчивости и восстанавливающий момент имеют максимальные значения; точку B заката диаграммы, определяющую теоретически предельный угол крена $\theta_в$.

При большом разнообразии диаграмм статической остойчивости они обладают некоторыми общими свойствами.

Начальный участок диаграммы, как правило, представляет собой прямую линию и соответствует метацентрической формуле остойчивости:

$$M_{восс} = g D h \theta = g D l, \qquad (89)$$

где $l = h\theta$;

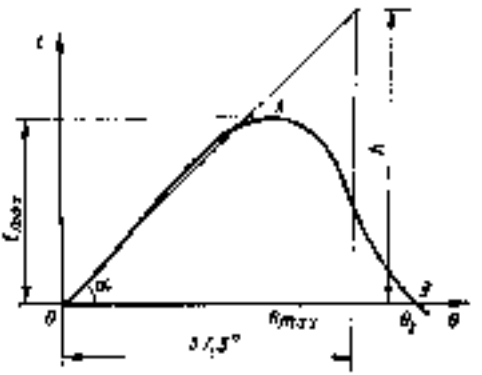


Рис. 34 Характерные точки диаграммы статической остойчивости

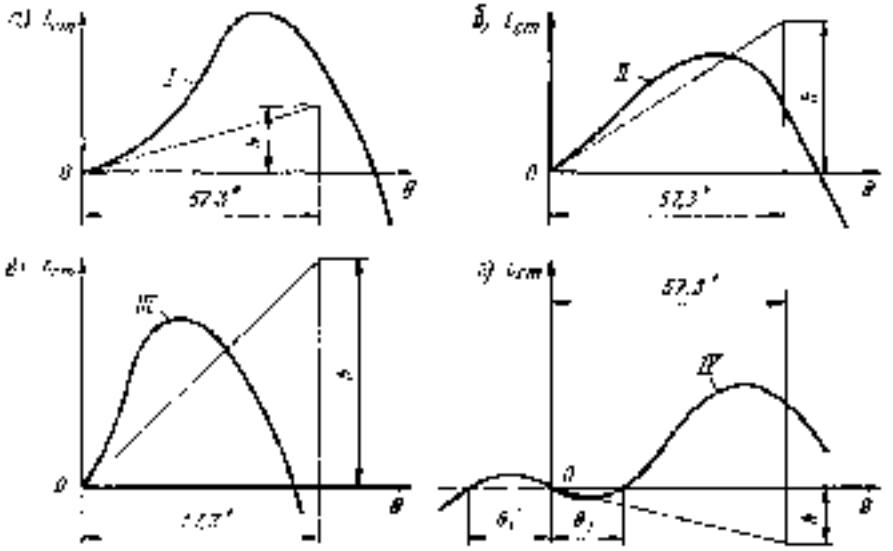


Рис. 35. Типы диаграмм статической остойчивости

при малых углах крена зависимость между плечом статической остойчивости и углом крена является линейной и изображается прямой линией;

восходящая часть кривой диаграммы статической остойчивости характеризует устойчивое положение равновесия судна, а нисходящая — неустойчивое. При всех углах крена, соответствующих расположению кривой над осью абсцисс, наклоненное судно вернется в первоначальное положение равновесия, т. е. будет остойчиво; и наоборот, при углах крена, соответствующих расположению кривой под осью абсцисс, судно неостойчиво;

ордината касательной, проведенной к диаграмме остойчивости в начале координат, при абсциссе, равной 1 рад (57,3°), определяет на диаграмме статической остойчивости поперечную метацентрическую высоту h, взятую в масштабе плеч остойчивости;

часть площади диаграммы статической остойчивости, расположенная слева от заданной ординаты, представляет в масштабе работу восстанавливающего момента, соответствующего этой ординате.

Наиболее характерны следующие типы диаграмм статической остойчивости современных судов (рис. 35, *а* — *г*).

Диаграммы *I*, *II* имеют суда с положительной начальной остойчивостью, а *III* — с отрицательной.

Диаграмма *I* типична для судов с относительно малой метацентрической высотой и большим надводным бортом. Диаграмма указывает на относительно малую остойчивость на начальных углах крена. Однако

при больших наклонениях благодаря наличию высоких бортов значительно возрастают моменты инерции наклоненных ватерлиний, а следовательно, и плечи статической остойчивости.

Диаграмма *II* характерна для низкобортных сравнительно широких судов, имеющих большую метацентрическую высоту. Первый участок диаграммы круто поднимается вверх. Однако в связи с малым надводным бортом кромка палубы начинает входить в воду уже при небольших углах крена, и остойчивость судна с этого момента быстро уменьшается. Такие суда, обладая избыточной начальной остойчивостью, имеют резкую качку и недостаточную остойчивость на больших углах крена.

Диаграмма *IV* относится к судам с отрицательной начальной остойчивостью. Кривая диаграммы сначала уходит вниз, в область отрицательных ординат, что соответствует углу крена θ_1. Начиная с угла крена θ_1, плечи остойчивости становятся положительными. Суда могут иметь диаграмму типа *IV* при неправильном распределении грузов. Это относится прежде всего к лесо- и контейнеровозам с большим количеством груза на палубе.

31. ДИАГРАММА ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Иногда в условиях эксплуатации (например, при шквале) кренящий момент действует на судно внезапно. При этом оно кренится значительно быстрее, чем при действии статического момента, набирая значительную угловую скорость и приобретая большой угол крена. В этом случае состояние равновесия при крене, при условии равенства кренящего и восстанавливающего моментов ($M_{кр} = M_{вос}$), как при действии статического кренящего момента, не наступит. Наклонение прекратится, когда работа кренящего момента будет равна работе восстанавливающего момента: $A_{кр} = A_{вос}$.

Таким образом, мерой динамической остойчивости является работа восстанавливающего момента $A_{вос}$.

Отношение работы восстанавливающего момента к произведению gD называют *плечом динамической остойчивости*:

$$l_{дин} = \frac{A_{вос}}{g\,D}. \tag{90}$$

Задачи, связанные с динамической остойчивостью, решаются с помощью диаграммы динамической остойчивости (рис. 36), которая представляет собой кривую, выражающую зависимость работы восстанавливающего момента от угла крена. Диаграмма динамической остойчивости является интегральной кривой относительно диаграммы статической остойчивости.

При помощи диаграммы динамической остойчивости можно определять:

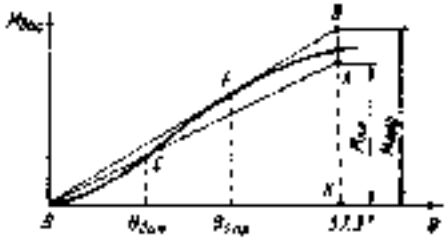


Рис. 36. Диаграмма динамической остойчивости

динамический угол крена. Для этого в точке на оси абсцисс, соответствующей углу крена в 1 рад (57,3°), восстанавливают перпендикуляр, откладывают на нем в масштабе значение кренящего момента, соединяют полученную точку с началом координат прямой линией OA. Точка C пересечения прямой OA с диаграммой соответствует условиям равновесия и определяет динамический угол крена $\theta_{дин}$;

при известном угле крена *динамически приложенный кренящий момент*, вызывающий этот крен. Задача решается в порядке, обратном предыдущей;

угол опрокидывания $\theta_{опр}$ *и минимальный опрокидывающий момент* $M_{опр}$. Максимальное значение нагрузки, при которой еще возможно равновесие, соответствует положению, когда прямая станет касательной к диаграмме. Поэтому для нахождения опрокидывающего момента и угла опрокидывания из начала координат проводят прямую OB, касательную к диаграмме динамической остойчивости. Точка касания F соответствует углу опрокидывания $\theta_{опр}$. Отрезок BK на оси ординат численно равен минимальному опрокидывающему моменту $M_{опр}$. При действии на судно большего динамического кренящего момента оно опрокинется.

32. НОРМИРОВАНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ

Нормирование остойчивости обеспечивает безопасность плавания судов. Правилами Речного Регистра РСФСР для каждого судна регламентируются нормы остойчивости. Во всех случаях действующий на судно кренящий момент не должен превышать допустимого, т. е. $M_{кр} \leqslant M_{доп}$.

Кренящий момент определяется по основному критерию для всех судов от динамического (шквального) действия ветра и по дополнительным требованиям в зависимости от назначения судна.

По основному критерию кренящий момент

$$M_{кр} = p S_{пб} l, \qquad (91)$$

где p — давление ветра на подводную поверхность, Па; $S_{пб}$ — площадь проекции подводной поверхности (парусности) на ДП судна, м²; l — плечо действующей кренящей силы (определяют по Правилам Речного Регистра), м

Дополнительные требования для определения кренящих моментов различны. Так, для пассажирских судов необходимо знать кренящие

моменты от скопления пассажиров на одном борту и движения судна на циркуляции.

Кренящий момент от скопления пассажиров на одном борту

$$M_{\text{п}} = g m_{\text{п}} y_{\text{п}}, \qquad (92)$$

где $m_{\text{п}}$ — масса пассажиров, кг; $y_{\text{п}}$ — расстояние от ЦТ площади, занятой пассажирами, до ДП, м.

Для буксирных судов дополнительно определяют кренящий момент от действия буксирного каната во время зарыскивания состава или при посадке его на мель. Значение момента зависит от мощности СЭУ, высоты размещения гака и отклонения каната от ДП.

Допустимый кренящий момент

$$M_{\text{доп}} = g D l_{\text{доп}}, \qquad (93)$$

где $l_{\text{доп}}$ — допустимое плечо остойчивости, м

Плечо остойчивости определяют по диаграммам плеч остойчивости, принимая его минимальным из условия опрокидывания или заливания корпуса. *Углом заливания* $\theta_{\text{зал}}$ называют наименьший угол, при котором начинается заливание водой внутренних помещений через открытые отверстия. В соответствии с Правилами Регистра открытыми считаются отверстия в главной палубе или бортах, в стенках надстроек, не имеющие непроницаемых закрытий. Угол заливания определяют как наименьший исходя из схем, изображенных на рис. 37. При этом K — высота надводного борта до открытого отверстия, через которое может попасть вода в корпус.

При проверке остойчивости по основному критерию допускаемый момент находят с учетом влияния качки. Определение предельных значений плеч остойчивости с учетом влияния качки показано на рис. 38, *а*, *б*. Учет влияния качки состоит в том, что диаграммы статической и динамической остойчивости достраивают влево (точка A на угол, соответствующий амплитуде качки $\theta_{\text{к}}$. Для нахождения предельных по опрокидыванию значений угла и момента (см. рис. 38, *а*) по диаграмме плеч статической остойчивости проводят подбор равнове-

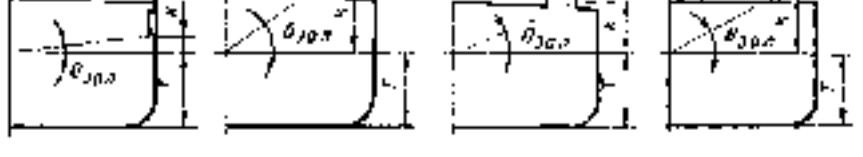


Рис. 37. Определение угла заливания:

а — корпус с иллюминаторами; *б* — корпус с комингсом; *в* — корпус с люком в палубе; *г* — герметический корпус

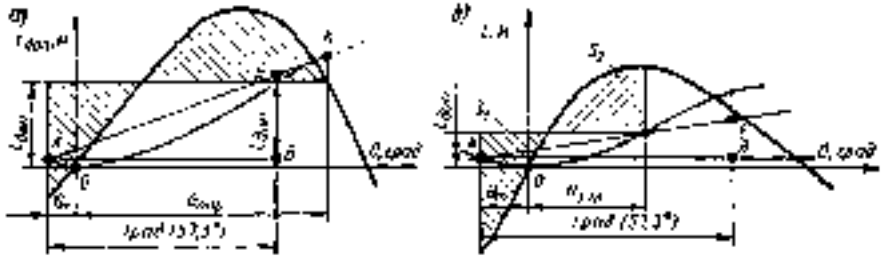


Рис. 38. Определение допустимых предельных моментов у судна, имеющего начальный крен по опрокидыванию и заливанию

ликих площадей S_1, S_2 с учетом продленной ветки $l_{доп}$. Значение $l_{доп}$ определяется отрезком BE, а угол опрокидывания $\theta_{опр}$ — точкой K.

Предельный момент по углу заливания (см. рис. 38, *б*) определяется аналогично описанному в параграфе 31, но с учетом влияния качки, т. е. построением симметричной ветви диаграммы и смещением начала координат.

В соответствии с требованиями Речного Регистра на всех судах должна быть информация об остойчивости (разрабатывается проектантом), без которой эксплуатация судна запрещается. В нее входят общие положения, основные характеристики судна, сведения об остойчивости при типовых случаях нагрузки, рекомендации капитану о мерах предосторожности при перевозке грузов, не рассмотренных в типовых случаях, и приложения, облегчающие проведение самостоятельных расчетов по посадке судна и проверке остойчивости при различных случаях загрузки.

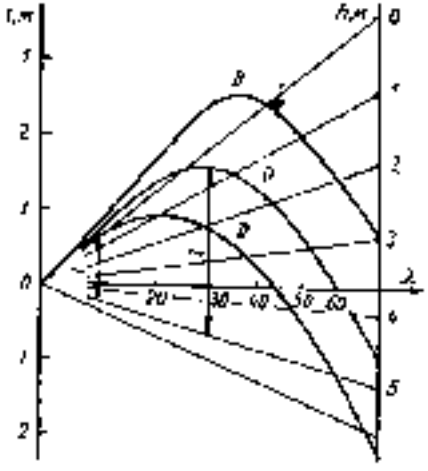


Рис. 39. Универсальная диаграмма плеч статической остойчивости

В информация приводятся диаграммы плеч остойчивости для различных водоизмещений, а для грузовых судов даются универсальные диаграммы плеч статической остойчивости. Диаграмма дает зависимость $l = f(\theta)$ при различных водоизмещениях и значениях малой метацентрической высоты (рис. 39). По оси абсцисс углы крена откладывают в неравномерной шкале синусов, т. е. отрезок от 0 до 10° равен $\lambda_{10} = \lambda \sin 10°$, а от 0 до 20° соответственно $\lambda_{20} = \lambda \sin 20°$ и т. д.

Требования Регистра СССР к остойчивости судов даны в специальных Правилах. Регистр СССР требует, чтобы в худшем случае коэффициент остойчивости

$$K = \frac{M_{опр\ min}}{M_{дин\ max}} \geqslant 1, \tag{94}$$

где $M_{опр\ min}$ — минимальный опрокидывающий момент, кН·м; $M_{дин\ max}$ — динамически приложенный кренящий момент от давления ветра с учетом качки, кН·м.

От диаграммы статической остойчивости Регистр СССР требует, чтобы $l_{ст\ max} \geqslant 0{,}25$ м для судов длиной менее или равной 85 м и $l_{ст\ max} \geqslant 0{,}2$ м для судов длиной более или равной 105 м. Угол заката диаграммы для всех судов должен быть не менее 60°. Метацентрическая высота у всех судов при всех возможных вариантах нагрузки должна быть положительной.

33. ПРОДОЛЬНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

Продольная остойчивость проявляется при наклонениях судна вокруг поперечной оси, проходящей через ЦТ площади ватерлинии. Такие наклонения вызывают дифферент судна, который определяется как разность осадок носа и кормы:

$$d = T_н - T_к. \tag{95}$$

Принято считать, что дифферент на нос имеет знак плюс, а на корму — минус.

На рис. 40 показано продольное наклонение судна на угол ψ с дифферентом на нос. При этом центр величины переместится из точки C в точку C_1 и сила поддержания, направление которой перпендикулярно действующей ватерлинии, будет действовать под углом ψ к первоначальному направлению. Линии действия первоначального и нового направлений сил поддержания пересекаются в точке M, называемой *продольным метацентром*.

Радиус дуги перемещения центра величины называется *продольным метацентрическим радиусом* R, который определяется расстоянием от продольного метацентра M до центра величины C и вычисляется как

$$R = \frac{J_F}{V}, \tag{96}$$

где J_F — момент инерции площади ватерлинии относительно поперечной оси, проходящей через ее центр тяжести F, м⁴; V — объемное водоизмещение судна, м³.

Условие равновесия при продольном наклонении судна $M_{диф} = M_{в\psi}$ (где $M_{в\psi}$ — восстанавливающий момент при продольном наклонении, кН·м, здесь ψ — угол дифферента, рад).

Восстанавливающий момент в соответствии с рис. 40

$$M_{в\psi} = g D \overline{GG_1}, \tag{97}$$

где $\overline{GG_1}$ — плечо продольной остойчивости, м.

Из треугольника GMG_1

$$GG_1 = \overline{MG} \sin\psi = H \sin\psi. \tag{98}$$

Отрезок $\overline{MG} = H$ называют *продольной метацентрической высотой*, которая определяется как возвышение продольного метацентра над центром тяжести судна.

Подставив выражение (98) в формулу (97), получим метацентрическую формулу продольной остойчивости:

$$M_{в\psi} = gDH \sin\psi \tag{99}$$

Так как угол дифферента очень мал, то формулу продольной остойчивости можно записать в виде

$$M_{в\psi} = g D H \psi. \tag{100}$$

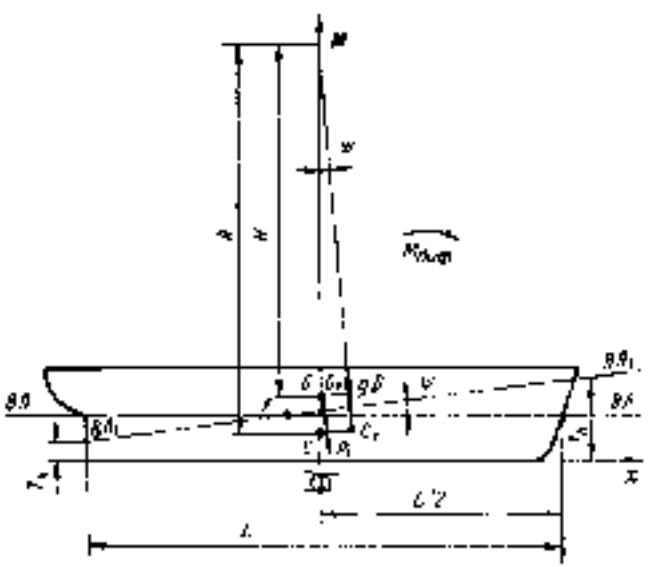


Рис. 40. Элементы продольной остойчивости

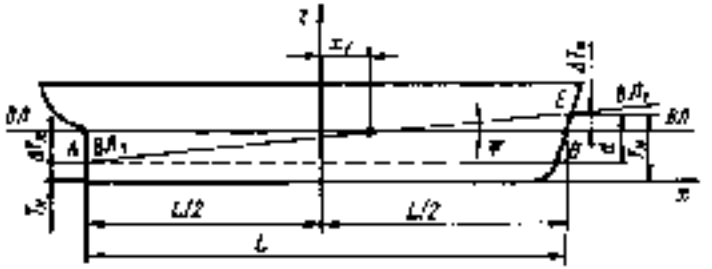


Рис. 41. Изменение осадок носом и кормой при продольном наклонении судна

Угол дифферента из выражения (100)

$$\psi = \frac{M_{\text{диф}}}{\rho D H} = \frac{M_{\text{диф}}}{\rho D H}. \qquad (101)$$

Продольное наклонение даже при малых углах приводит к значительному линейному дифференту (так, при продольном наклонении теплохода типа «Волго-Дон» на 1° линейный дифферент равен 0,9 м), поэтому для решения практических задач важно определить момент, воздействие которого изменит дифферент судна на 1 см. Предположим, что судно под действием некоторого момента получило дифферент и его новая ватерлиния имеет положение BB_1 (рис. 41). Дифферент определится катетом BE прямоугольного треугольника ABE. Отсюда

$$\operatorname{tg}\psi \simeq \psi = \frac{d}{L}. \qquad (102)$$

Сравнив выражения (101) и (102), получим $d/L = M_{\text{диф}}/(\rho D H)$, откуда

$$M_{\text{диф}} = \frac{d}{L}\rho D H. \qquad (103)$$

Если дифферент выразить в сантиметрах, то момент, дифферентующий судно на 1 см, определится как

$$M_{\text{диф 1 см}} = 0{,}01\frac{\rho D H}{L}. \qquad (104)$$

34. ОПЫТ КРЕНОВАНИЯ

Положение центра тяжести судна определяют расчетным путем при проектировании, однако в процессе постройки происходит некоторое перераспределение масс, что влияет на посадку и остойчивость судна. Координаты ЦТ готового судна находят с помощью опыта кренования, в основу которого положено перемещение груза определенной массы q,

называемого крен-балластом. Крен-балласт перемещают в поперечно-горизонтальном направлении на расстояние Δl и определяют при известном массовом водоизмещении D судна угол крена θ. По полученному значению угла крена по формуле (55) вычисляют метацентрическую высоту:

$$h = \frac{g\,\Delta l}{g\,D\,\mathrm{tg}\,\theta}, \qquad (105)$$

где Δl — ордината ЦТ крен-балласта, м.

Согласно Правилам Речного Регистра РСФСР опыту кренования подвергаются все головные суда, каждое пятое судно строящейся серии, все суда после капитального ремонта, а также суда, остойчивость которых вызывает сомнение.

Обычно кренование выполняют у порожнего судна. При этом судно не должно касаться причала и грунта. Предметы снабжения и инвентарь устанавливают на штатные места.

В качестве крен-балласта используют чугунные чушки, стальные болванки или мешки с песком. Балласт размещают на верхней палубе симметрично относительно ЦТ площади действующей ватерлинии, разделив его на четыре равные по массе группы. Порядок перемещения крен-балласта при каждом из необходимых восьми наблюдений определен Правилами Речного Регистра РСФСР. В специальной таблице для каждого из восьми наблюдений записывают массу крен-балласта данной группы, расстояние между его центрами тяжести до и после перемещения, а также угол крена судна. На основании полученных данных по формуле (105) определяют метацентрическую высоту при каждом перемещении и находят ее среднее значение.

Координаты центра тяжести судна:

$$z_G = z_m - h; \quad x_G = x_C - (z_G - z_C)\,\mathrm{tg}\,\psi, \qquad (106)$$

где z_G, x_G — искомые координаты центра тяжести судна, м; $z_m = z_C + r$ — аппликата метацентра, м; h — определенная из опыта кренования метацентрическая высота, м; z_C, x_C — координаты центра величины, рассчитанные по масштабу Бонжана, м; ψ — угол дифферента при креновании, град.

При опыте кренования для определения угла крена судна используют инклинографы.

Инклинограф состоит из станины с осью, на которую надет барабан с бумажной лентой, приводимый во вращение часовым механизмом. Когда судно получает наклонение, перо записывающего устройства прочерчивает на вращающемся барабане зигзагообразную линию, характеризующую это наклонение. Обычно используют при креновании не менее двух инклинографов, устанавливаемых вблизи ДП.

Истинное приращение угла крена при данном перемещении крен-балласта будет равно среднему арифметическому показаний всех инклинографов.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение остойчивости судна. Как влияет остойчивость на безопасность плавания судна?
2. В чем различие между статической и динамической остойчивостью?
3. Почему поперечную метацентрическую высоту называют мерой статической остойчивости судна?
4. Меняется ли положение равновесия судна и его поперечная остойчивость при вертикальном перемещении судна?
5. Что такое нейтральная плоскость остойчивости судна?
6. Как изменится остойчивость судна при приеме груза выше нейтральной плоскости остойчивости?
7. Изменяется ли остойчивость судна, производящего выгрузку груза собственным краном, в момент, когда изменяется только высота подъема груза, а вылет стрелы остается прежним?
8. С какой целью у танкеров устанавливают в трюмах (танках) дополнительные продольные переборки?
9. Где и для каких целей применяют шифтингбордсы?
10. Каким способом можно отремонтировать движительный комплекс судна без применения судоподъемных сооружений?
11. Что является мерой динамической остойчивости судна?
12. Дайте определение продольной метацентрической высоты и напишите метацентрическую формулу продольной остойчивости.
13. Для чего и как проводятся опытное кренование судна?

Глава V

НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ СУДНА

35. ОБЕСПЕЧЕНИЕ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ

Непотопляемостью называют способность судна сохранять плавучесть и необходимую остойчивость после затопления одного или нескольких отсеков корпуса. Обеспечение непотопляемости является важнейшим условием безопасности плавания судна.

Характеристики непотопляемости судов нормируются Правилами Регистра. Судно признается удовлетворяющим требованиям непотопляемости, если аварийная ватерлиния при затоплении расчетных отсеков ни в одной точке не пересекает предельную линию погружения, проведенную на бортах корпуса ниже кромки незакрытых отверстий на 75 мм.

Требования к остойчивости поврежденного судна считаются выполненными, если расчеты для случая затопления указанного числа отсеков покажут следующее:

начальная метацентрическая высота в конечной стадии затопления, определенная методом постоянного водоизмещения, составляет не менее 0,05 м;

угол крена при этом без принятия мер по спрямлению не превышает 15°;

аварийная ватерлиния на 300 мм проходят ниже отверстий в бортах или переборках;

диаграмма статической остойчивости поврежденного судна имеет достаточную площадь участков с положительными плечами.

В период проектирования судна разрабатывают документ, содержащий информацию об аварийной остойчивости и посадке аварийного судна. Пользуясь ею, капитан в случае аварии имеет возможность оценить состояние поврежденного судна и принять необходимые меры по его спасению.

Непотопляемость судов обеспечивается прежде всего определенными конструктивными мероприятиями, а также грамотными действиями экипажа в аварийной ситуации. Так, при проектировании судна выбирают такую высоту непроницаемого надводного борта, при которой обеспечиваются достаточные запасы плавучести и остойчивости.

Важнейший фактор, обеспечивающий непотопляемость судна, — разделение корпуса на отсеки прочными водонепроницаемыми переборками. Разбивку на отсеки выполняют с учетом возможных повреждений и влияния затопления каждого из отсеков на крен, дифферент и остойчивость судна. Объем любого отсека должен быть меньше запаса плавучести, а уменьшение остойчивости при затоплении отсека не должно сопровождаться опрокидыванием судна. В процессе проектирования выполняют специальный расчет и строят кривую предельных длин отсеков, которая определяет максимально допустимое расстояние между водонепроницаемыми переборками. Число переборок должно удовлетворять требованию по их минимуму, обеспечивая при этом заданные требования по сохранению мореходных качеств после затопления части отсеков.

Иногда на крупных судах отсеки, ограниченные поперечными переборками, делят продольными водонепроницаемыми переборками. Однако наличие таких переборок может вызвать опасный крен судна после затопления отсека, ширина которого меньше ширины судна. Для ликвидации крена в подобных случаях разрабатывают систему затопления отсеков, что позволяет при сохранении достаточной остойчивости спрямить судно.

Важное значение для сохранения мореходных качеств судна после затопления одного из отсеков имеют предупредительные организационно-технические мероприятия, для выполнения которых личный состав проходит специальную подготовку и тренировку. К таким мероприятиям относятся: поддержание в процессе эксплуатации судна непроницаемости наружной обшивки, палуб, переборок и сохранение герметичности люковых закрытий; сохранение необходимого запаса плавучести и остойчивости; содержание средств борьбы за живучесть в полной готовности к действию.

Борьба за непотопляемость судна обеспечивается быстрыми и точными действиями экипажа согласно разработанным инструкциям и наставлениям.

36. ОЦЕНКА ПОСАДКИ И ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ПРИ ЗАТОПЛЕНИИ ОТСЕКА

Посадку судна и изменение его остойчивости при затоплении отсека полностью, как может быть при затоплении междудонного пространства, оценивают по методу начальной остойчивости, используя все зависимости из задачи о приеме груза (см. параграф 24).

Для оценки посадки и остойчивости судна при затоплении отсека, сообщающегося с забортной водой, но не заполняемого полностью, удобнее пользоваться методом постоянного водоизмещения. Суть метода состоит в том, что заполненный водой отсек исключают при определении элементов плавучести, а масса судна остается неизменной. Для решения задачи зададим элементы затопленного отсека (рис. 42):

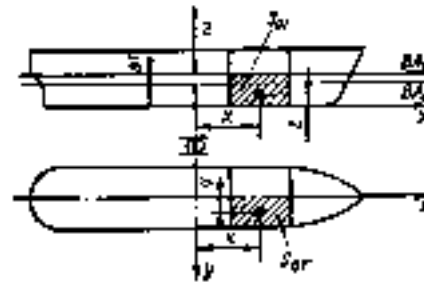


Рис. 42. Заполнение отсека III категории

$S_{от}$ — площадь затопленного отсека (потерянная площадь ватерлинии), м²; J_x, J_y — моменты инерции потерянной площади относительно продольной и поперечной осей, м⁴; x, y, z — координаты ЦТ затопленного отсека, м.

Тогда изменение средней осадки судна после затопления отсека

$$\Delta T = \frac{\rho V_з}{\rho (S - S_{от})} = \frac{V_з}{S - S_{от}},$$

где ρ — плотность воды, т/м³; $V_з$ — объем затопленного отсека, м³; S — площадь действующей ватерлинии, м².

Осадки носом и кормой после затопления отсека

$$T_{н,к} = T + \Delta T \pm \frac{L}{2} \operatorname{tg} \psi. \qquad (107)$$

Изменение поперечной метацентрической высоты определяется изменением метацентрического радиуса и аппликаты ЦВ:

$$\Delta h_m = \Delta r + \Delta z_C. \qquad (108)$$

Метацентрический радиус изменяется в связи с уменьшением момента инерции площади ватерлинии на размер площади затопленного отсека:

$$\Delta r = \frac{\Delta J_x}{V} = \frac{J_x - S_{от} y^2}{V}, \qquad (109)$$

где J_x — момент инерции площади первоначальной ватерлинии, м⁴; V — объемное водоизмещение судна, м³.

Контрольные вопросы к заданию

1. Дайте определение непотопляемости судна.
2. Какую роль для непотопляемости играет разбивка корпуса судна на отсеки?
3. Какие организационные меры должен постоянно выполнять экипаж для обеспечения непотопляемости судна?

Глава VI

УПРАВЛЯЕМОСТЬ СУДНА

37. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Управляемость — мореходное качество, характеризующее способность судна двигаться по выбранной судоводителем или заданной траектории. Управляемость оценивается поворотливостью и устойчивостью судна на курсе и зависит от гидромеханических свойств судна, эффективности органов управления и действий рулевого.

Поворотливость — способность судна изменять направление движения при перекладке руля или других средств управления.

Устойчивость на курсе — способность судна сохранять заданное направление движения, несмотря на действие течения, волнения и ветра. Эксплуатационную устойчивость судна на курсе проверяют во время ходовых испытаний при ветре 2—3 балла. При этом во время движения заданным курсом регистрируют частоту и углы перекладки руля, необходимые для удержания судна на данном курсе. Если руль приходится перекладывать не чаще 4—6 раз в минуту на углы 2—3°, то эксплуатационная устойчивость на курсе считается достаточной.

Управляемость судна на заднем ходу значительно хуже, чем на переднем, поэтому согласно требованиям Правил Речного Регистра необходимо, чтобы судно на глубокой воде на заднем ходу удерживалось на прямом курсе одними рулевыми органами без маневрирования главными двигателями. Хорошо себя зарекомендовали насадки с раздельным управлением, широко применяемые на крупных грузовых судах. На некоторых судах дополнительно устанавливают руль заднего хода.

При проектировании судна в зависимости от назначения предпочтение отдается поворотливости (у рейдовых судов) или устойчивости на курсе (у транспортных морских судов). У транзитных речных судов, которые работают на извилистых фарватерах, должно быть сочетание этих качеств.

Самопроизвольное изменение направления движения судна называют *рысканьем*.

Теория управляемости позволяет рассчитать силы, действующие на перо руля и корпус судна при повороте или дрейфе, определить элементы циркуляции, выработать условия устойчивости судна на курсе.

Управляемость судна обеспечивается специальными средствами управления, которые создают силу, вызывающую боковое смещение судна.

Средства управления подразделяют на основные и вспомогательные. К *основным* относятся руль, поворотные насадки, крыльчатые движители, обеспечивающие управляемость судна во время движения, к *вспомогательным* — подруливающие устройства и активные рули, обеспечивающие управляемость при движении судна по инерции, когда главные двигатели не работают.

38. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СУДОВОГО РУЛЯ

Рассмотрим судовой руль, расположенный под углом к ДП судна и потоку воды (рис. 43). При движении судна вперед равнодействующая гидродинамических сил P, действующих на руль AB, приложена в центре давления и направлена перпендикулярно к поверхности руля. Приложим в центре тяжести судна взаимно уравновешивающие силы P_1 и P_2, равные и параллельные силе P. Силы P и P_2 образуют пару, момент которой поворачивает судно вправо,

$$M_{пр} = P l, \tag{110}$$

где l — плечо пары, м.

Если принять, что ЦТ судна лежит на чидель-шпангоуте, а плечом a можно пренебречь как сравнительно малой величиной, то формула (110) примет вид

$$M_{пр} = P \cdot 0{,}5L \cos\alpha. \tag{111}$$

Силу P_1 можно разложить на составляющие:

$$Q = P_1 \cos\alpha = P\cos\alpha_р; \quad R = P_1 \sin\alpha = P\sin\alpha_р. \tag{112}$$

Сила Q действует перпендикулярно к ДП, вызывая дрейф и крен судна, сила R уменьшает его скорость.

При движении судна задним ходом сила P действует в противоположном направлении, а вращающий момент поворачивает судно влево. Судно будет иметь дрейф вправо и крен на правый борт.

При перекладке руля на угол $\alpha_р$ судно начинает поворачиваться, уменьшает скорость, приобретает дрейф в сторону, противоположную повороту.

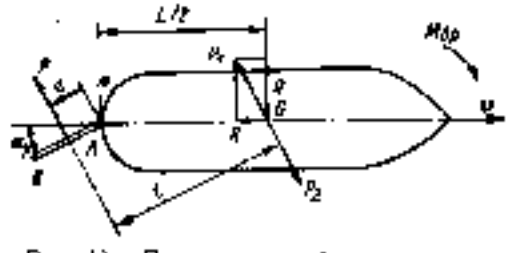


Рис 43. Принцип воздействия руля на судно

Значение равнодействующей гидродинамических сил,

приложенной к рулю, можно определить по формуле Жосселя:

$$P = \frac{k F v^2 \sin \alpha_p}{0.2 + 0.3 \sin \alpha_p}, \quad (113)$$

где k — коэффициент, принимают для одновинтовых судов 5,9, для двухвинтовых 3,2; F — площадь пера руля, м²; v — скорость судна, км/ч.

Пользуясь формулой (113), можно определить площадь пера руля:

$$F = \frac{P (0.2 + 0.3 \sin \alpha_p)}{k v^2 \sin \alpha_p}. \quad (114)$$

Наибольший вращающий момент руля возникает при углах его перекладки приблизительно на 35°.

Момент на баллере, который необходим для перекладки пера руля,

$$M_б = P a. \quad (115)$$

Плечо a можно приближенно определять как

$$a = (0.2 + 0.3 \sin \alpha_p) b,$$

где b — ширина пера руля, м.

Подставив значения P и a в уравнение (115), получим

$$M_б = k F v^2 b \sin \alpha_p. \quad (116)$$

Значение момента на баллере, определенное по формуле (116), служит основным параметром для выбора мощности рулевой машины.

39. ЦИРКУЛЯЦИЯ СУДНА И РАСЧЕТ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ

Направление движения изменяют перекладкой руля на некоторый угол α_p. При удержании руля в отклоненном положении судно движется по криволинейной траектории, называемой *циркуляцией*. Процесс движения по циркуляции принято разделять на три периода:

маневренный — от начала до конца перекладки руля;

эволюционный — от окончания перекладки руля до установившегося движения (период соответствует повороту судна на 80—100°);

установившейся циркуляции, представляющей движение судна по окружности и продолжающейся до тех пор, пока не изменят положение пера руля.

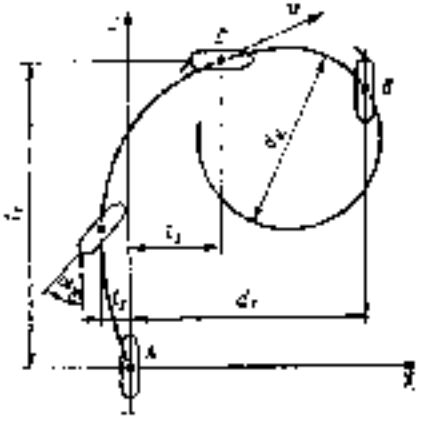


Рис. 44. Элементы циркуляции судна

Различают следующие элементы циркуляции (рис. 44).

Диаметр установившейся циркуляции $d_ц$ – диаметр окружности.

описываемый центром тяжести судна в период установившегося движения. Судно, имеющее лучшую поворотливость, имеет меньший диаметр циркуляции. Обычно для судов внутреннего плавания $d_ц = (1{,}2 \div 2{,}2)\,L$.

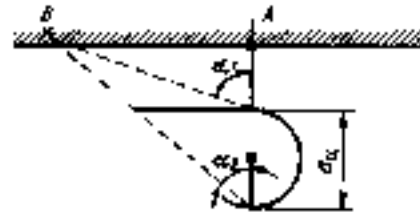


Рис. 45. Определение диаметра циркуляции на мерной линии

Тактический диаметр циркуляции $d_т$ — расстояние между положениями диаметральной плоскости судна в начальный момент перекладки руля (точка A) и после поворота на 180° (точка B): $d_т = 0{,}9\,d_ц$.

Выдвиг l_1 — расстояние между положением ЦТ судна в момент начала перекладки руля (точка A) и после поворота судна на 90° (точка C).

Прямое смещение l_2 — расстояние, на которое смещается ЦТ судна при повороте его на 90° (точка C) по отношению к диаметральной плоскости судна в начальный момент перекладки руля (точка A).

Обратное смещение l_3 — максимальное расстояние, на которое смещается ЦТ судна в сторону, противоположную перекладке руля: $l_3 = 0{,}1\,d_ц$.

Период циркуляции $t_ц$ — время, затраченное судном при повороте на 360°,

$$t_ц = \frac{\pi\, d_ц}{v}, \qquad (117)$$

где v — скорость судна на циркуляции, м/с.

Для судов внутреннего плавания, эксплуатируемых в бассейнах с ограниченными габаритами пути, большое внимание при проектировании и ходовых испытаниях уделяют диаметру циркуляции, устойчивости на курсе, управляемости на заднем ходу и при сильном боковом ветре.

Для повышения устойчивости на курсе на судах устанавливают неподвижные стабилизаторы в виде вертикальных пластин, придают судну дифферент на корму.

Очень большое значение для судна имеет диаметр циркуляции. Чаще всего его определяют при ходовых испытаниях на мерной линии (рис. 45). Расстояние AB на берегу точно известно. В точке A установлен створный знак. Проходя створ, перекладывают руль, берут по теодолиту пеленг на точку B и определяют угол α_1. Пройдя половину циркуляции на створе A, вновь берут пеленг на точку B и определяют угол α_2. Диаметр циркуляции

$$d_ц = AB\,(\operatorname{tg}\alpha_2 - \operatorname{tg}\alpha_1). \qquad (118)$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимается под устойчивостью на курсе?
2. При каких условиях устойчивость на курсе считается достаточной?
3. Какие требования предъявляются к управляемости судна при его движении заданным ходом?
4. Назовите основные элементы циркуляции судна.

Глава VII

КАЧКА СУДНА

40. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О КАЧКЕ И ЕЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Качкой называют сложное колебательное движение, которое судно может совершать как твердое тело при плавании на спокойной или взволнованной поверхности воды. Возможность колебательного процесса определяется наличием сил или моментов, оказывающих сопротивление перемещениям и стремящихся возвратить судно в исходное положение.

Под действием возмущающей силы судно может иметь шесть возможных видов перемещений: три поступательных в направлениях осей x, y, z и три колебательных вокруг этих осей. Однако только три из них могут иметь колебательный характер. Вертикальные колебания (сила действует в направлении оси z), приводящие к периодическим погружениям и всплытиям, называют *вертикальной качкой*. Колебания вокруг оси y, вызывающие наклонения с борта на борт, называют *бортовой качкой* (переменный крен). Колебания вокруг оси x, вызывающие продольные наклонения, называют *килевой качкой* (переменный дифферент).

Сила в направлении оси x вызывает ускорение или торможение движения, а сила в направлении оси y — боковое смещение (дрейф). Момент вокруг оси z вызывает лишь отклонение от курса.

Колебания судна обычно происходят одновременно, но их раздельное изучение облегчает задачу, а результирующее перемещение, определяющее положение судна относительно воды, может быть получено суммированием результатов.

Характеристиками колебательного процесса являются:

амплитуда качки — наибольшее отклонение судна от положения равновесия;

размах качки — полное перемещение от одного крайнего положения до другого (сумма двух амплитуд следующих друг за другом колебаний);

частота качки ω — число полных колебаний судна за время 2π;

период качки t — интервал времени между двумя последовательными колебаниями отклонений судна в одном и том же направлении (два размаха), $t = 2\pi/\omega$;

коэффициент динамичности качки — отношение амплитуды качки к амплитуде волны, отражающее реакцию судна на воздействие регулярных волн.

Если возмущающая сила приложена однократно, то колебательный процесс под действием сопротивления быстро затухает. Амплитуда максимального отклонения зависит от значения приложенной силы и характеристик судна, а частота или период качки — только от характеристик судна. Поэтому такие колебания называют *собственными*, или *свободными*.

Наиболее важным параметром качки является частота, которая при совпадении с частотами действующих сил может привести к резонансным колебаниям и значительному, иногда многократному, увеличению амплитуды. Обеспечение плавания без попадания в условия резонансных колебаний возлагается на судоводителя. При отсутствии расчетных данных с достаточной точностью период свободной бортовой качки может быть определен по формуле

$$t_\theta = K_k \frac{B}{h_m^{1/2}} \qquad (119)$$

где K_k — размерный коэффициент (принимают $K_k = 0{,}93 \div 0{,}86$ с/м для пассажирских судов, $0{,}75 - 0{,}85$ с/м для грузовых судов и $0{,}62 \div 0{,}72$ с/м для буксиров; бо́льшие значения коэффициента относятся к порожнему судну, меньшие — к груженому); B — ширина судна, м; h_m — малая метацентрическая высота, м.

Из формулы (119) видно, что чем меньше метацентрическая высота, тем больше период качки, а следовательно, плавнее качка. Поэтому в процессе проектирования и эксплуатации судна стремятся к тому, чтобы его метацентрическая высота имела минимальное значение, обеспечивающее безопасность мореплавания.

Периоды свободной килевой и вертикальной качки одинаковы и приближенно могут быть определены:

$$t_\theta = t_{верт} \simeq (2{,}7 \div 3)\, T, \qquad (120)$$

где T — осадка судна, м.

Связь между периодом бортовой качки и метацентрической высотой позволяет заметить, что при увеличении остойчивости (h_m возрастает) снижается плавность качки (t_θ убывает), т. е. возрастает частота колебаний ω.

41. КАЧКА СУДНА НА ВОЛНЕНИИ. УСПОКОИТЕЛИ КАЧКИ

На волнении повторяемость возмущающих сил (встреча с волной) оказывается регулярной, что может привести к резонансным колебаниям. Частота встречи с волной зависит от скорости судна и волны, уг-

ла их встречи. Если считать, что судно идет к направлению распространения волн под углом φ, то относительная скорость встречи

$$c' = v \cos \varphi \pm c_в, \tag{121}$$

где v — скорость судна, м/с; $c_в$ — скорость распространения волны, м/с (знак плюс соответствует встречной волне, минус — попутной).

Частота встречи (частота возмущающей силы) соответствует отношению длины волны к относительной скорости встречи, т. е.

$$t_в = \frac{\lambda_в}{c'}. \tag{122}$$

Длина волны $\lambda_в$ определяется расстоянием между двумя соседними вершинами или подошвами волн. Высота волны определяется по вертикали от нижней точки ее впадины (подошвы) до высшей точки вершины (гребня). Период волны $t_в$ определяется временем, в течение которого две соседние волны проходят через одну неподвижную точку пространства. Приближенно скорость распространения волны

$$c_в = 1{,}25\lambda_в^{1/2}. \tag{123}$$

Тогда кажущийся период волны

$$t_в = \frac{\lambda_в}{v \cos \varphi \pm 1{,}25\lambda_в^{1/2}}. \tag{124}$$

Судоводитель должен сопоставить период собственных колебаний судна (формулы (119) и (121)) с вынужденными колебаниями — (124). Для обеспечения безопасности движения различие между ними должно быть не менее 20 %. Как видно из выражения (124), частоту возмущающей силы можно изменить изменением скорости судна и угла встречи с волной. На практике безопасную скорость судна и курсовой угол часто выбирают с помощью специальных диаграмм Ремеза, Власова и других.

Влияние качки учитывают главным образом при нормировании мореходных качеств. В нормировании остойчивости качка учитывается при определении допускаемых моментов, а для судов класса М-СП и при нормировании относительного ускорения при бортовой качке, которое соответствует удовлетворительной обитаемости. Сводится это к тому, чтобы ускорение, испытываемое человеком, не превышало значения, равного одной десятой части ускорения свободного падения (0,1 g). Если это требование не удовлетворяется, то

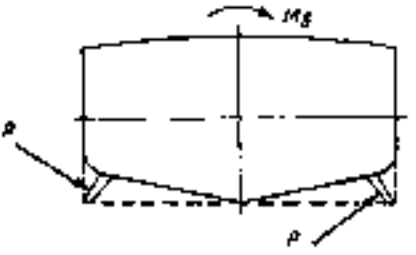


Рис. 46. Возникновение сил на скуловых килях при качке

на судне следует выполнить мероприятия, снижающие амплитуду бортовой качки.

Наиболее простым средством являются *скуловые кили* — пластины, установленные на скуловом поясе перпендикулярно обшивке (рис. 46). Протяженность их соответствует длине цилиндрической вставки, ширина — габаритам шпангоута. При действии возмущающего момента $M_в$ скуловые кили создают момент сопротивления силам P. Применяют также активные скуловые кили (бортовые рули, стабилизирующие качку).

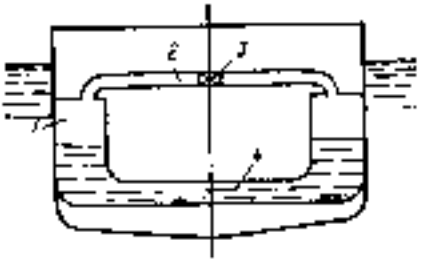


Рис. 47. Цистерны для успокоения качки:

1 — свободное пространство цистерн; 2, 4 — соответственно воздушный и водяной соединительные каналы; 3 — система клапанов

Существуют и другие виды гасителей колебаний, к которым относятся *пассивные успокоительные цистерны*, представляющие собой бортовые цистерны, соединенные воздушным каналом сверху и водяным снизу (рис. 47). Каналы снабжены системой клапанов, обеспечивающих перетекание жидкости при крене. Сопротивление воздуха, силы инерции и трения тормозят перетекание жидкости в такой мере, что период перетекания оказывается равным периоду качки судна и отстает по фазе от колебаний судна на 90° и колебаний волны на 180°. Таким образом, жидкость перекает в сторону поднимающегося борта и ее масса создает момент, успокаивающий качку судна. При режимах качки, близких к резонансу, цистерны уменьшают амплитуды качки примерно вдвое. Если жидкость перемещается насосами, то такие успокоительные цистерны считаются *активными*.

Наиболее сложным и дорогостоящим является применение *гироскопических успокоителей*. Тяжелый диск (гироскоп) успокоителя вращается с большой скоростью вокруг оси, соединенной с рамой. Ось качания рамы расположена горизонтально в поперечной плоскости судна и специальными цапфами соединена с его корпусом. При качке судна и вращении гироскопа возникает сложное движение рамы — прецессия, приводящая к появлению в цапфах реакций, создающих стабилизирующий момент.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие виды качки может иметь судно?
2. Какие меры предосторожности должен принять судоводитель, чтобы не допустить резонансных колебаний судна?
3. Назовите типы успокоителей качки, применяемые на морских судах.

Глава VIII

СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ СУДНА

42. СОСТАВЛЯЮЩИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ СУДНА

Ходкость—способность судна развивать с помощью движителей заданную скорость, преодолевая сопротивление окружающей среды — воды и воздуха. Сила сопротивления движению судна зависит от физических свойств среды. Важнейшими физическими характеристиками жидкости являются плотность и вязкость.

Плотностью называется величина, определяемая отношением массы вещества к занимаемому им объему, т/м³.

$$\rho = \frac{m}{V_1}, \qquad (125)$$

где m — масса жидкости, т; V_1 — объем, м³.

Вязкость (внутреннее трение) — свойство жидкостей оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. При течении вязкой жидкости в трубе ее скорость возрастает от нулевого значения у стенки трубы до максимального значения на оси. Между слоями, движущимися с разными скоростями, действуют касательные силы внутреннего трения: слой, перемещающийся быстрее, увлекает за собой слой, движущийся медленнее, а тот в свою очередь тормозит первый. Вязкость жидкостей увеличивается с понижением температуры; она характеризуется *коэффициентами динамической* η *и кинематической* ν *вязкости*.

Вязкость жидкости, а также шероховатость поверхности вызывают изменение скорости обтекания вблизи поверхности корпуса. Благодаря молекулярным силам сцепления частицы воды, непосредственно соприкасающиеся с обшивкой корпуса, как бы прилипают к ней и движутся со скоростью, равной скорости судна. По мере удаления от поверхности корпуса скорость частиц в слое воды уменьшается. На некотором удалении частицы имеют скорость невозмущенного потока. Зона, в которой наблюдается изменение скоростей движения частиц жидкости, называется *пограничным слоем*.

Относительное смещение слоев воды в пограничном слое и изменение при этом гидродинамического давления вдоль смоченной поверхности корпуса вызывают сопротивление движению судна.

Полное сопротивление движению судна складывается из пяти основных составляющих:

$$R = R_т + R_ф + R_в + R_{вл} + R_{возд}. \qquad (126)$$

Сопротивление трения $R_т$ — равнодействующая сил трения, возникающих вследствие вязкости воды между корпусом движущегося судна и ближайшими к нему слоями воды пограничного слоя. Сопротивление трения зависит от скорости судна, размеров и формы смоченной поверхности корпуса и степени ее шероховатости:

$$R_т = \zeta_т \frac{\rho}{2} v^2 \Omega, \qquad (127)$$

где $\zeta_т$ — безразмерный коэффициент сопротивления трения; v — скорость судна, м/с; Ω — площадь смоченной поверхности корпуса, м^2.

Площадь смоченной поверхности определяют по теоретическому чертежу или эмпирической формуле:

$$\Omega = L\,(1{,}36T - 1{,}13\delta B), \qquad (128)$$

где L, B, T — главные размерения судна, м; δ — коэффициент полноты водоизмещения корпуса.

Снижение сопротивления трения на практике достигают устранением шероховатости наружной обшивки, периодическими очисткой и окраской подводной части корпуса стойкими и самополирующимися красками мелкой зернистости, планомерной борьбой с обрастанием корпуса водорослями и ракушкой у судов смешанного плавания.

Сопротивление формы $R_ф$ образуется при понижении давления воды за кормой судна и появлении добавочных сил, препятствующих его движению. Равнодействующая сил, возникающих вследствие разности гидродинамических давлений вдоль корпуса и зависящих от его формы, называется сопротивлением формы:

$$R_ф = \zeta_ф \frac{\rho}{2} v^2 \Omega, \qquad (129)$$

где $\zeta_ф$ — безразмерный коэффициент сопротивления формы.

Сопротивление формы может быть уменьшено при проектировании корпуса судна путем улучшения его обтекаемости, увеличения отношения L/B и обеспечения примыкания кормовых ветвей ватерлинии к ДП в подводной части корпуса под возможно меньшими углами.

Волновое сопротивление $R_в$ обусловлено влиянием волн на распределение гидродинамических давлений вдоль смоченной поверхности судна:

$$R_в = \zeta_в \frac{\rho}{2} v^2 \Omega, \qquad (130)$$

где $\zeta_в$ — безразмерный коэффициент волнового сопротивления (находят по специальным графикам, составленным по результатам модельных испытаний судна).

Для уменьшения волнового сопротивления задаются возможно большими значениями отношения L/B и коэффициента продольной полноты. При прочих равных условиях достигается значительное уменьшение волнового сопротивления у катамаранов. С целью снижения

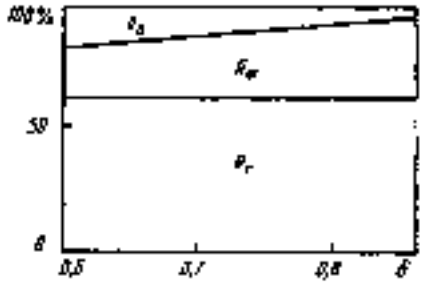


Рис 48. Примерное соотношение между основными составляющими сопротивления среды для водоизмещающих судов

волнового сопротивления корпуса морских судов изготовляют с носовыми бульбами.

Сопротивление формы и волновое сопротивление образуют *остаточное сопротивление*, определяемое по модельным испытаниям судна в опытовом бассейне:

$$R_0 = R_\Phi + R_в \qquad (131)$$

Соотношение между сопротивлениями трения, формы и волнового при изменении коэффициента полноты водоизмещения судна показано на рис. 48.

Сопротивление выступающих частей $R_{вч}$ образуется сопротивлением рулей, насадок, кронштейнов гребного вала и других выступающих частей корпуса. Конструкторы стремятся уменьшить сопротивление выступающих частей, придавая им хорошо обтекаемую форму и сокращая их число.

Сопротивление воздуха $R_{возд}$ характеризует воздействие на судно воздушной среды. При проектировании судна для уменьшения сопротивления воздуха надстройкам придают обтекаемую форму и максимально уменьшают их размеры.

Сопротивление выступающих частей и воздуха определяют, продувая модели выступающих частей, надстроек и надводной части корпуса в аэродинамической трубе.

43. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ СУДНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОДЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Для экспериментального определения сопротивления воды движению судна по модельным испытаниям необходимо обеспечить условия геометрического и гидродинамического подобия судна и модели.

Геометрическое подобие заключается в одинаковом соотношении линейных размеров, площадей и объемов геометрически подобных тел (судна — длина $L_с$, площадь смоченной поверхности $S_с$, объем подводной части $V_с$ и модели $L_м$, $S_м$, $V_м$). При этом масштаб, определяющий степень уменьшения модели, устанавливается отношениями:

$$\lambda = \frac{L_с}{L_м}; \quad \lambda^2 = \frac{S_с}{S_м}; \quad \lambda^3 = \frac{V_с}{V_м}. \qquad (132)$$

Подобие сил трения при обтекании погруженного тела потоком вязкой жидкости характеризуется равенством чисел Рейнольдса для судна и модели: $Re_c = Re_м$.

Число Рейнольдса - - это отношение между силами инерции и силами трения в динамически подобных потоках жидкости, определяемое как

$$Re = \frac{v L}{\nu} \qquad (133)$$

Подобие сил тяжести при обтекании тела потоком идеальной жидкости, находящейся вблизи поверхности, определяется равенством чисел Фруда: $Fr_c = Fr_м$.

Число Фруда - это отношение сил инерции к силам тяжести в динамически подобных потоках. Оно характеризует относительную скорость судна:

$$Fr = \frac{v}{(g L)^{1/2}}. \qquad (134)$$

Полное удовлетворение обоих условий гидродинамического подобия возможно лишь при размерах модели, равных размерам судна. Однако опытным путем доказано, что для получения достоверных результатов достаточно удовлетворить подобие только веса судна и модели, а для подобия вязкости жидкости создать вблизи корпуса модели турбулентный поток. С этой целью в носовой части модели устанавливают турбулизатор.

Используя условия подобия веса судна и модели (134), получим соотношение

$$\frac{v_c}{(g L_c)^{1/2}} = \frac{v_м}{(g L_м)^{1/2}},$$

откуда скорость буксировки модели

$$v_м = v_c \frac{L_м^{1/2}}{L_c^{1/2}} = \frac{v_c}{\lambda^{1/2}}. \qquad (135)$$

Следовательно, исходя из гидродинамического подобия при моделировании сопротивления воды скорость буксировки модели должна быть меньше скорости судна в определенное число раз, т. е. в $\sqrt{\lambda}$ (где λ — линейный масштаб).

В зависимости от способа буксировки модели существующие опытовые бассейны подразделяют на бассейны с самоходной тележкой и падающим грузом.

В *бассейне с самоходной тележкой* большой канал заполнен водой. По рельсам, проложенным по стенкам канала, перемещается самоходная тележка, буксирующая модель судна. Сопротивление воды движению модели при данной скорости определяют по показаниям динамо-

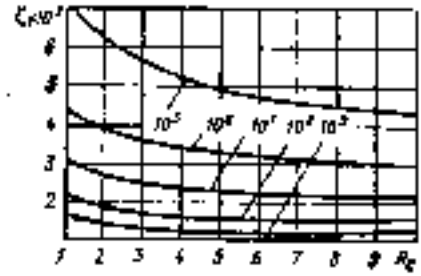


Рис. 49. Зависимость коэффициента сопротивления трения гладкой пластины от числа Рейнольдса

метра, посредством которого модель судна соединяется с тележкой.

В *бассейне с падающим грузом* обычно канал значительно меньшего размера. Модель закрепляют канатом, который приводится в движение падающим грузом. При этом сопротивление воды движению модели равно весу свободно падающего груза за исключением поправки на трение в буксировочной системе.

Модели изготовляют из дерева или сплава парафина с воском. Размеры модели определяются габаритами канала бассейна. Точность результатов опыта возрастает с увеличением размеров модели.

Для определения полного сопротивления движению судна по модельным испытаниям достаточно найти остаточное сопротивление модели: $R_{0м} = R_м - R_{тм}$. Полное сопротивление модели $R_м$ определяют при буксировке модели в опытовом бассейне; сопротивление трения модели $R_{тм}$ вычисляют по формуле (127). В этой формуле коэффициент сопротивления трения $\zeta_м$ в зависимости от числа Рейнольдса Re для гладкой пластины определяют по графику рис. 49.

Остаточное сопротивление судна в соответствии с теорией подобия

$$R_0 = R_{0м} \lambda^3, \tag{136}$$

Определив сопротивление трения судна $R_т$ по формуле (127), а сопротивление выступающих частей в воздуха путем продувания их моделей в аэродинамической трубе и суммировав все составляющие, найдем полное сопротивление судна:

$$R = R_т + R_0 + R_{вл} + R_{возд}. \tag{137}$$

44. ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ПЛАВАНИЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ СУДНА

Суда речного флота эксплуатируются на мелководных участках рек и каналов. Ограниченные глубина и ширина фарватера изменяют все составляющие сопротивления воды движению судна по сравнению с движением его на глубокой воде. Сопротивление на мелководье зависит от глубины фарватера $H_ф$ и соотношения осадки судна с глубиной фарватера $T/H_ф$ и определяется по специальным графикам.

В условиях ограниченной глубины фарватера увеличиваются местные скорости обтекания водой днища корпуса, что вызывает рост сопротивления трения. При этом возрастает перепад давления вдоль кормовой оконечности корпуса, что также приводит к росту сопротивления формы и увеличению осадки судна кормой.

Наиболее существенно в условиях мелководья изменяется волновое сопротивление. При движении судна по каналу с ограниченными габаритами со скоростью $v = (gH_\Phi)^{1/2}$ образуется одиночная поперечная волна, которая движется около форштевня со скоростью, равной скорости судна. Это вызывает дополнительное углубление судна, уменьшение зазора между его корпусом и дном. Поперечная волна распространяется по всей ширине канала, разрушая его стенки. Так как в этой стадии движения волновое сопротивление достигает наибольшего значения, то скорость судна называют критической: $v_{кр} = (gH_\Phi)^{1/2}$.

Чтобы исключить удары о дно и предотвратить разрушение откосов, на судоходных каналах нашей страны установлены предельные скорости судов, которые значительно ниже критических скоростей. Так, на канале имени Москвы водоизмещающим судам разрешено движение со скоростью не более 12 км/ч.

Сопротивление воды движению состава судов существенно изменяется в зависимости от его формы и метода вождения. Для кильватерного состава несамоходных судов сопротивление воды меньше суммы сопротивлений каждой баржи в отдельности, так как каждая последующая за первой баржа расположена в попутном потоке, образующемся за кормой переднего судна.

Для оценки изменения сопротивления воды движению состава судов по сравнению с суммой сопротивлений одиночных судов, включенных в данный состав, используют *коэффициент счала*:

$$k_{сч} = \frac{R_c}{\sum_{i=1}^{n} R_i}, \qquad (138)$$

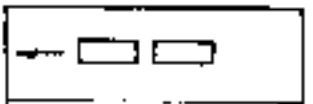
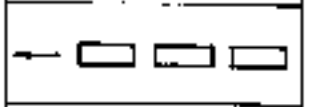
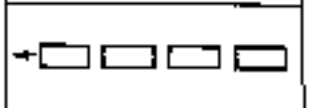
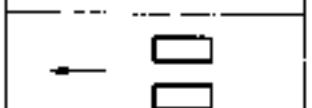
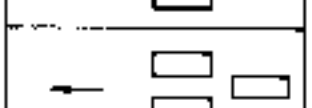
где R_c – сопротивление воды движению состава судов при данной скорости и заданных условиях плавания, кН; R_i – сопротивление воды для одиночного судна при тех же условиях плавания, кН.

Средние значения коэффициента счала $k_{сч}$ для условий глубокой воды приведены в табл. 4.

Для одного и того же буксируемого состава барж при данной скорости полное сопротивление воды может быть различным в зависимости от длины буксирного каната, поэтому очень важно для данного состава определить оптимальную длину каната.

Применение метода толкания при вождении судов позволяет повысить их скорость на 10—15 % по сравнению с вождением на буксирном канате, прежде всего благодаря устранению неблагоприятного влия-

Таблица 4

Схема состава	Формула состава	$k_{сч}$
	1+1 1—(Б-Т)	0,85 -0,89
	1+1+1 1+1+1+(Б-Т)	0,75—0,8
	1+1+1+1+1 1+1+1+1+(Б-Т)	0,69—0,75
	2	0,9—1,05
	2+1+1 2+(Б-Т)	0,85—0,91
	1+2+1 1+2+(Б-Т)	0,78 0,83

Примечания. Первая строка — изолированный состав несамоходных судов, вторая — состав барж с буксиром-толкачом (Б-Т).

ний потока от движителей буксира-толкача к повышению устойчивости движения толкаемого состава на курсе.

Под коэффициентом счала для толкаемых составов понимают отношение сопротивления толкаемого состава к сумме сопротивлений барж и толкача, входящих в состав,

$$k_{сч}=\frac{R_{сост}}{\sum_{i=1}^{n} R_{i\,б}-R_{тол}}, \qquad (139)$$

где $R_{сост}$ — сопротивление толкаемого состава из жестко счаленных барж и толкача, кН; $R_{i\,б}$ — сопротивление отдельной баржи, входящей в состав, кН; $R_{тол}$ — сопротивление воды движению толкача, кН.

Для перемещения судна с заданной постоянной скоростью его движительный комплекс должен создавать полезное тяговое усилие, равное полному буксировочному сопротивлению R движения судна, но противоположное ему по направлению. Мощность, затрачиваемая непосредственно на преодоление полного сопротивления движению судна, называется *полезной мощностью*, кВт:

$$N_p = R v, \tag{140}$$

где R — полное сопротивление движению судна, кН; v — скорость судна, м/с.

Отношение полезной мощности к затраченной, подведенной к движителю, называется *пропульсивным коэффициентом* полезного действия:

$$\eta_p = \frac{N_p}{N_e} = \frac{R v}{N_e}. \tag{141}$$

Пропульсивный коэффициент характеризует эффективность действия движителя, учитывает все гидромеханические потери, возникающие при его работе вблизи корпуса судна (в зависимости от типа движителя и влияния корпуса $\eta_p = 0{,}3 \div 0{,}7$).

Движительный комплекс буксирного судна при заданной скорости v с составом барж на гаке также должен развивать полезную силу тяги, которая равна произведению силы тяги каждого движителя на их число. Но в данном случае сила тяги должна быть такова, чтобы преодолеть не только сопротивление движению самого судна, но и сопротивление, которое испытывает состав барж.

Полезной мощностью в этом случае считается тяговая мощность буксирного судна:

$$N_{pб} = R_c v,$$

где R_c — сопротивление состава барж, кН.

Поскольку движение судна осуществляется благодаря подводу энергии от двигателя к движителю, то неизбежны потери в редукторе, валопроводе и в самом движителе. Поэтому *эффективная мощность*, которую должен развивать главный двигатель судна для сообщения ему скорости v,

$$N_e = \frac{N_в}{\eta_в} = \frac{R v}{\eta_p \eta_в}, \tag{142}$$

где $\eta_в$ — КПД водопровода (равен 0,95–0,98 при прямой передаче на вал, 0,92—0,97 при редукторной передаче, 0,89—0,92 при электрической передаче у дизель-электроходов).

Таким образом, эффективная мощность — это мощность на фланце коленчатого вала двигателя. Зная эффективную мощность, можно определить индикаторную мощность двигателя, которая больше эф-

фективной на мощность механических потерь, т. е. $N_i = N_e + N_м$. Мощность механических потерь определяется наличием в двигателе различных внутренних сопротивлений. Наиболее существенное значение имеют потери на трение.

Индикаторной мощностью называют мощность, развиваемую паром (паровая машина) или сгорающими газами (двигатель внутреннего сгорания) внутри двигателя.

$$N_i = \frac{N_e}{\eta_м} = \frac{R v}{\eta_р \eta_в \eta_м}, \qquad (143)$$

где $\eta_м$ — механический КПД двигателя (равен 0,75 ÷ 0,93 в зависимости от его типа).

Механический КПД показывает (в долях единицы или процентах) ту часть индикаторной мощности, которая передается на фланец коленчатого вала.

Мощность паровых машин обычно характеризуется индикаторной мощностью, а мощность двигателей внутреннего сгорания — эффективной.

Из формулы (142) можно определить скорость судна:

$$v = \frac{N_e \eta_р \eta_в}{R}. \qquad (144)$$

Из формулы (144) видно, что ходовые качества судна будут тем лучше, чем больше мощность двигателя, выше качество движительной установки и валопровода и меньше сопротивление среды движению судна.

46. СУДА С ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ ПРИНЦИПОМ ПОДДЕРЖАНИЯ

Общие сведения. Одна из задач речного транспорта — увеличение скорости пассажирских судов. У водоизмещающих судов увеличения скорости достигают повышением мощности главных двигателей, но при этом резко возрастает сопротивление воды корпусу судна. Поэтому для увеличения скорости судна наиболее эффективно снижение сопротивления среды его движению путем перевода всего корпуса или части его из среды высокой плотности — воды в среду с существенно пониженной плотностью — воздух. Средством для изменения посадки судна во время движения может быть гидродинамическое поддержание корпуса относительно поверхности воды. Из судов, имеющих динамическое поддержание корпуса, на внутренних водных путях наиболее распространены суда глиссирующие, на подводных крыльях и воздушной подушке, менее распространены суда с воздушной каверной на днище и экранопланы.

Глиссирующие суда. У глиссирующего судна при силе упора винта P, равнодействующая сил сопротивления воды $R_в$ может быть на-

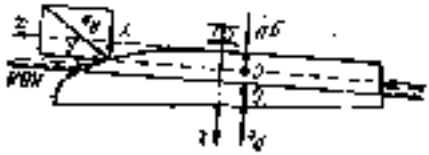


Рис. 50. Силы, действующие на глиссирующее судно

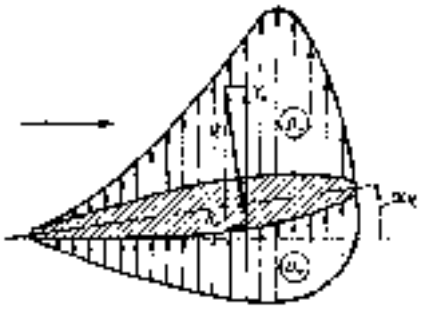


Рис. 51. Принцип действия крыла при движении СПК (стрелкой показано направление движения крыла)

правлена под некоторым углом к горизонтали (рис. 50). В этом случае, кроме сопротивления воды R, возникает гидродинамическая подъемная сила Y, и уравнение равновесия судна примет вид

$$P_c = g D + Y. \qquad (145)$$

Сила Y и точка ее приложения имеют большое значение для глиссирующих судов. При высокой скорости судна гидродинамическая сила возрастает, вызывая ходовой дифферент на корму и уменьшая объем погруженной части корпуса. При различных скоростях движения соотношение между гидростатической gD и гидродинамической Y силами поддержания изменяется.

В зависимости от соотношения гидродинамической и гидростатической сил поддержания корпуса различают три режима движения судна: плавание, переходный режим к глиссирование.

При *режиме плавания* гидродинамическая сила настолько мала, что не оказывает влияния на посадку судна. Этот режим наблюдается при движении на малой скорости.

С увеличением скорости наступает *переходный режим*, при котором гидродинамическая и гидростатическая силы поддержания примерно равны.

При *режиме глиссирования* гидродинамическая сила компенсирует основную часть (до 94 %) веса судна.

На внутренних водных путях эксплуатируются в глиссирующем режиме разъездные и спортивные катера, в переходном режиме на малых реках работает пассажирский теплоход «Заря». Крупные транспортные глиссирующие суда не строятся.

Суда на подводных крыльях. Носовые и кормовые несущие подводные крылья судна обеспечивают подъемную силу, достаточную для полного отрыва корпуса от воды.

Известно, что при обтекании крыла потоком на нем возникает подъемная сила. На рис. 51 изображено поперечное сечение крыла, имеющего специальный авиационный профиль и расположенного под некоторым положительным углом атаки α_0 к направлению движения. На нижней поверхности крыла давление больше, чем в спокойной жидкости

на этом уровне ($p_+ > p$), а на верхней — меньше, т. е. над крылом создается разрежение с давлением ($p_- < p$), вследствие чего образуется *подъемная сила крыла* $Y_к$. Многочисленные эксперименты показывают, что около двух третей подъемной силы создается благодаря разрежению над крылом.

Одновременно с подъемной силой на крыле развивается сила сопротивления $R_к$, которую называют силой *лобового сопротивления*. Ее природа определяется вязкостью жидкости, а также изменением направления потока вследствие перетекания жидкости из зоны повышенного давления в зону разрежения над крылом. Силы $Y_к$ и $R_к$ зависят от угла атаки $\alpha_к$, под которым расположено крыло относительно набегающего потока.

Число, показывающее, во сколько раз подъемная сила больше силы сопротивлению движению $R_к$, называют *гидродинамическим качеством крыла*:

$$K_к = \frac{Y_к}{R_к}. \qquad (146)$$

При максимальной скорости у крыльев обтекаемого профиля $K_к = 15 \div 18$. До выхода на крылья судно проходит режимы плавания и переходный. В случае движения на малой скорости, когда число Фруда $Fr < 1$, на днище и крылья действует незначительная гидродинамическая сила и судно движется в водоизмещающем режиме. С увеличением скорости ($1 < Fr < 2,2$) резко возрастает подъемная сила носового крыла $Y_{нк}$ (рис. 52), обеспечивая выход носовой оконечности судна из воды. Кормовое крыло остается еще в потоке воды, и судно глиссирует — корпус его поддерживается на плаву гидростатической и гидродинамической силами. При этом возникает интенсивное волно- и брызгообразование. Такой режим движения судна на подводных крыльях называют *переходным*.

При дальнейшем увеличении скорости ($Fr \geq 2,7$) подъемная сила кормового крыла $Y_{кк}$ обеспечивает выход из воды кормовой оконечно-

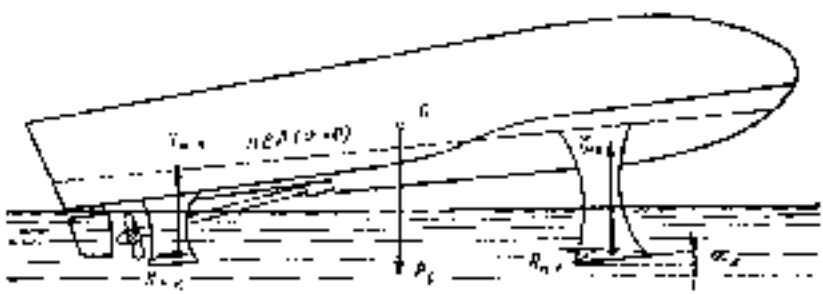


Рис. 52. Силы, действующие на судно при движении на подводных крыльях

сти к судно выходит на крылья. В это время значительно уменьшается сопротивление движению и достигается максимальная скорость судна при номинальной мощности главных двигателей.

Равновесие СПК в основном режиме движения (на крыльях) обеспечивается благодаря подъемной силе крыльевой системы:

$$P_г = Y_{пк} + Y_{нк}. \qquad (147)$$

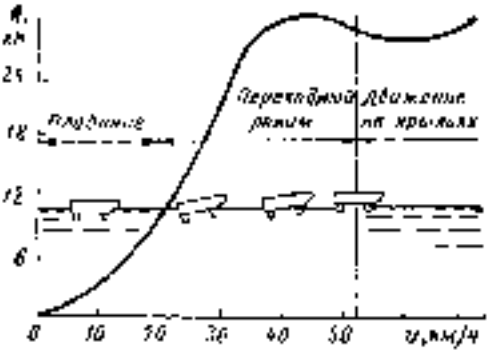


Рис. 53. Процесс выхода теплохода «Ракета» (СПК) на крылья

Судно на подводных крыльях имеет максимальное сопротивление движению на переходном режиме. Это учитывают при выборе мощности главных двигателей с целью обеспечения надежного выхода судна на крылья (рис. 53).

На речном флоте применяют СПК с малопогруженными плоскими или трапециевидными подводными крыльями (рис. 54), которые обеспечивают небольшую осадку и высокую поперечную и продольную остойчивость, что очень важно для движения по рекам с ограниченными габаритами судового хода. Остойчивость судна обеспечивается благодаря самостабилизации малопогруженных крыльев — способности их реагировать на изменение внешней нагрузки вертикальным перемещением относительно уровня воды, изменяя при этом подъемную силу.

На морских скоростных судах применяют глубоко погруженные крылья, у которых стабилизация осуществляется изменением площади их смоченной поверхности. Существует также система искусственной стабилизации, когда подъемную силу изменяют поворотом части крыла (закрылка). При таком регулировании вводится специальная система автоматической стабилизации и управления, которая реагирует на угол атаки закрылка, тем самым изменяя подъемную силу.

Теоретическая максимальная скорость судна на подводных крыльях ограничена 110 км/ч. При превышении этой скорости крылья выхо-

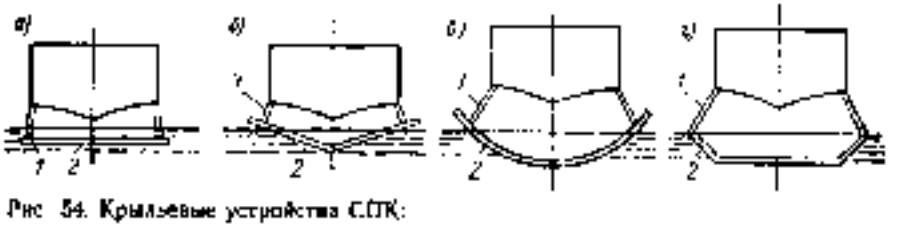


Рис. 54. Крыльевые устройства СПК:

а — плоское малопогруженное крыло; б, в, г — крылья, пересекающие свободную поверхность воды; 1 — пропеллер (стойка); 2 — крыло

дят к поверхности воды, резко уменьшается гидродинамическая подъемная сила из-за исчезновения разрежения над крылом.

Суда на воздушной подушке. Снижение сопротивления движению СВП достигается созданием слоя воздуха повышенного давления между корпусом судна и свободной поверхностью воды. Непрерывно работающие вентиляторы, компрессоры или воздушно-реактивные двигатели нагнетают воздух под днище, создавая поддерживающую силу.

В судостроительной практике применяют сопловую (рис. 55, *а*) и камерную (рис. 55, *б*) схемы образования воздушной подушки. При *сопловой схеме* воздух попадает в распределительную камеру, а затем вытекает струей через кольцевое направляющее сопло, расположенное по периметру днища.

Камерная схема обеспечивает создание воздушной подушки в результате подачи воздуха в купол под днищем судна и образования здесь избыточного давления.

Уравнение равновесия СВП в основном режиме движения — парении над водой — можно записать:

для *амфибийных судов* (с полным отрывом корпуса)

$$P_c = p S_п; \tag{148}$$

для *скеговых судов*

$$P_c = p S_п + \gamma V_{ск}. \tag{149}$$

где P_c — вес судна, кН; p — давление воздуха воздушной подушки, кПа; $S_п$ — площадь подушки, м²; γ — удельный вес воды, кН/м³; $V_{ск}$ — объем подводной части скегов, м³.

При движении судна скегового типа его вес уравновешивается силой, создаваемой давлением воздуха воздушной подушки и гидростатической силой поддержания части корпуса и скегов, находящихся в воде. Сила поддержания скегов $\gamma V_{ск}$ составляет 0,1 -0,15 веса судна. Если в статическом режиме теплоход «Зарница» (рис. 56) имеет осадку 0,6 м, то при движении на воздушной подушке - 0,4 м, что приводит к значительному уменьшению сопротивления движению. Благодаря этому теплоход с 48 пассажирами на борту при мощности двигателя 220 кВт развивает с помощью водометного движителя скорость до 40 км/ч.

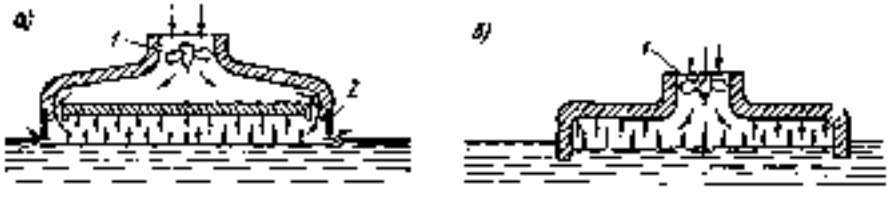


Рис. 55. Образование воздушной подушки:
1 — вентилятор; 2 — гибкое ограждение (кофа)

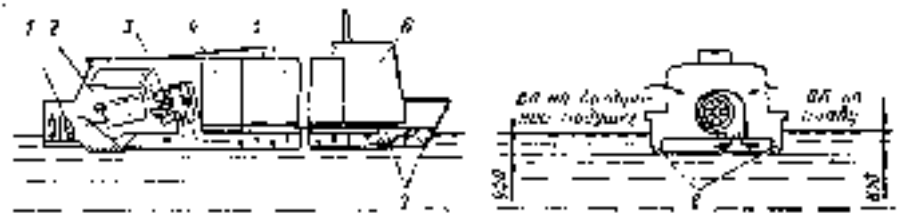


Рис. 56. Основные элементы СВП скегового типа:

1 — водометный движитель; *2* — главный двигатель; *3* — интерцептор; *4* — тамбур; *5* — пассажирский салон; *6* — рулевые рубки; *7* — гибкое ограждение; *8* — скеги

Высота парения СВП над водой определяется объемом воздуха, нагнетаемого под корпус судна. У амфибийных судов для уменьшения объемного расхода воздуха весь периметр воздушной подушки ограничивается гибким ограждением. Зазор между гибким ограждением и поверхностью воды составляет 15—20 мм. У скеговых судов воздушная подушка по бортам удерживается скегами, а в носу и корме — гибкими ограждениями или специальными обводами корпуса. Гибкое ограждение чаще выполняют в виде надувных баллонов, но оно бывает и в виде одиночных листов, называемых «юбкой».

Для обеспечения движения амфибийного СВП, как правило, используют воздушные винты, а для скеговых — водометные движители.

Сопротивление среды на основном режиме движения СПК и СВП имеет некоторые особенности. Для СПК полное сопротивление состоит из *лобового сопротивления крыльевой системы* $R_{кр}$, *сопротивления выступающих частей* $R_{вч}$ (стоек, кронштейнов, требных валов) и *воздушного сопротивления* $R_в$. Каждую из составляющих приближенно принимают равной 70, 25 и 5 % полного сопротивления, хотя для конкретных судов они будут различны.

Для СВП полное сопротивление состоит из аэродинамической и гидродинамической составляющих:

$$R = R_а + R_г. \qquad (150)$$

В *аэродинамическое сопротивление* $R_а$, кроме воздушного сопротивления $R_в$, аналогичного для всех судов, входят импульсное $R_и$ и реактивное $R_р$ сопротивления:

$$R_а = R_в + R_и - R_р.$$

Импульсное сопротивление $R_и$ определяется затратами энергии на преодоление силы инерции части воздуха, захватываемого вентиляторами и вовлекаемого в поступательное движение.

Реактивное сопротивление $R_р$ характеризуется энергией, затрачиваемой на преодоление сопротивления горизонтальной составляющей реакции струи воздуха, выходящей из воздушной подушки.

Гидродинамическое сопротивление $R_г$ состоит из сопротивления выступающих частей и гибкого ограждения, а также волнового сопротивления.

Для скеговых СВП добавляется еще сопротивление скегов, которое рассчитывают, как для корпусов водоизмещающих судов.

Суда с воздушной каверной на днище (СВКД). Сущность этого принципа движения заключается в том, что на днище судна благодаря подаче воздуха с избыточным давлением создается искусственная воздушная каверна. Удерживается воздушная каверна под днищем вследствие специальной профилировки днищевых обводов по длине и ширине. Носовая оконечность остроскулая, с выраженной V-образной формой днища, которая постепенно уменьшается в сторону кормы по длине теплохода. На глиссирующем днище в носовой части располагается поперечный редан, переходящий в бортовые скеги. Днищевый свод, расположенный за реданом между бортовыми скегами, обеспечивает плавное замыкание воздушной каверны в кормовой части теплохода.

Судно с воздушной каверной на днище имеет сопротивление движению на 30 % меньше, чем у подобных глиссирующих судов, полезная нагрузка у него в 1,5—2 раза выше при равных энергозатратах. Конструкция корпуса проста, технологична в изготовлении и обеспечивает высадку пассажиров на необорудованный берег.

Головной теплоход «Лунда» имеет один пассажирский салон на 70 пассажиров и может на спокойной воде развивать скорость хода до 55 км/ч. Теплоход отличают от СВП и СПК надежность в эксплуатации и простота в обслуживании из-за отсутствия крыльевых устройств и гибких ограждений, малые стояночная и ходовая осадки.

Экранопланы. Несущие крылья экраноплана создают подъемную силу, достаточную для полного отрыва корпуса от воды и поддержания его на небольшом расстоянии от ее поверхности. Экраноплан может двигаться в водоизмещающем режиме, глиссировать или совершать полет над поверхностью воды на высоте, равной 0,3—0,5 длины хорды профиля его крыла. Последний режим движения экраноплана является основным.

Подъемная сила у крыла экраноплана создается частично благодаря разрежению над крылом, а в основном — вследствие увеличения давления между крылом и поверхностью воды. Увеличение подъемной силы крыла вблизи экрана позволяет при сравнительно малой площади крыла получить подъемную силу, обеспечивающую отрыв судна от экрана и поддержание его над поверхностью воды.

Максимальное сопротивление движению среды экраноплан имеет в момент перехода к режиму полета из-за сопротивления корпуса, находящегося в воде. Поэтому экраноплан снабжают специальным стартовым движителем или для уменьшения сопротивления под корпусом создают воздушную подушку. Поступательную скорость экраноплану сообщают маршевые движители.

Управление по курсу на режиме водоизмещающего плавания и глиссирования осуществляется с помощью водяного руля, а на полетном режиме — с помощью воздушных рулей, расположенных в струе винта. Для управления в вертикальной плоскости экраноплан имеет рули высоты.

Для речных бассейнов экранопланы пока в нашей стране не строят.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое ловкость судна?
2. С чем связано возникновение сопротивления воды при перемещении судна?
3. Из каких составляющих складывается полное сопротивление движению судна?
4. В чем заключается геометрическое подобие судна и модели?
5. Как подразделяют опытовые бассейны в зависимости от способа буксировки модели?
6. Почему ограничивается скорость судна в каналах?
7. Какие типы судов с динамическими принципами поддержания вы можете назвать?

Глава IX

ДВИЖИТЕЛИ

47. ТИПЫ И ОСОБЕННОСТИ СУДОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ

Судовым движителем называется специальное устройство для преобразования работы главного двигателя или другого источника энергии в полезную тягу, которая обеспечивает поступательное движение судна.

К судовым движителям относят гребные винты, гребные колеса, водометные и крыльчатые движители.

Гребной винт представляет собой гидравлический механизм, лопасти которого захватывают забортную воду и сообщают ей дополнительную скорость в направлении, противоположном движению судна. При этом гидродинамические силы, возникающие на лопастях, создают осевую равнодействующую силу, называемую упором движителя. Упор движителя передается корпусу судна через жестко связанный с ним упорный подшипник.

У гребного винта с направляющими устройствами (насадками) упор создается как лопастями, так и трубой насадки.

Гребные винты — наиболее распространенный тип движителей. Они могут иметь 2—7 лопастей, расположенных на равных расстояниях по окружности ступицы, и представляют собой несущее крыло, образованное частью винтовой поверхности.

В зависимости от конструкции различают следующие типы гребных винтов: с неотъемными лопастями (цельнолитые и сварные), со съемными лопастями и винты регулируемого шага (ВРШ).

На речном флоте широко распространены цельнолитые гребные винты, имеющие наиболее простую конструкцию. Винты со съемными лопастями стали применять в последние годы в тех случаях, когда по условиям эксплуатации возможны частые поломки лопастей. Съемная лопасть имеет в корневом сечении фланец, с помощью которого ее крепят к ступице.

Характеристику лопасти гребного винта и единичный элемент крыла (см. параграф 46) определяют одни и те же силы с той разницей, что у гребного винта рассматривают суммарный упор и результирующую силу сопротивления вращению всех лопастей.

Если скорость набегающего на винт потока v_n (рис. 57), а радиальная скорость ωr, то угол атаки данного элемента сечения лопасти α_i определяется углом между результатирующей скоростью v_i и линией нулевой подъемной силы (ЛНПС). Подъемная сила и сила лобового сопротивления сводятся к результирующей силе $Y_в$. Одна из ее проекций дает силу полезного упора винта $P_в$, а вторая — силу сопротивления вращению $R_{вр}$. Момент силы $R_{вр}$ относительно оси гребного винта преодолевается главным двигателем судна.

Гребные винты имеют относительно малую массу, небольшие размеры, надежны в эксплуатации, недороги в изготовлении и позволяют использовать большинство малооборотных главных двигателей без редукторных передач; их КПД достигает 70 %.

Гребные колеса (рис. 58) имеют горизонтальную ось вращения, перпендикулярную направлению движения, и, как правило, располагаются по бортам судна. У гребных колес сила упора создается на плице, как на крыле. Перемещение плицы создает силу $F_п$, проекция которой на направление движения создает полезный упор $P_к$.

Достоинство гребных колес — достаточно высокий КПД и возможность создания значительного упора при малых осадках. Гребные колеса с поворотными плицами имеют наивысшие значения КПД 58—60 %. Недостатками гребных колес являются сложность и громоздкость конструкции, большая масса, вынужденное увеличение ширины судна, частые повреждения, особенно при движении на волнении и в ледовых условиях.

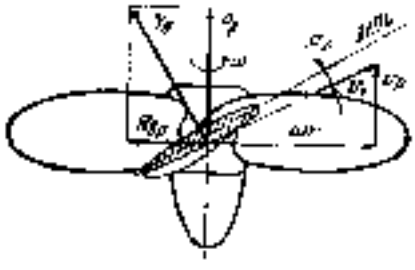


Рис. 57. Схема действия гребного винта

В *водометном движителе* (рис. 59, *а, б*) необходимая полезная сила тяги создается благодаря приращению количества движения, которое получает в водометном комплексе забортная вода.

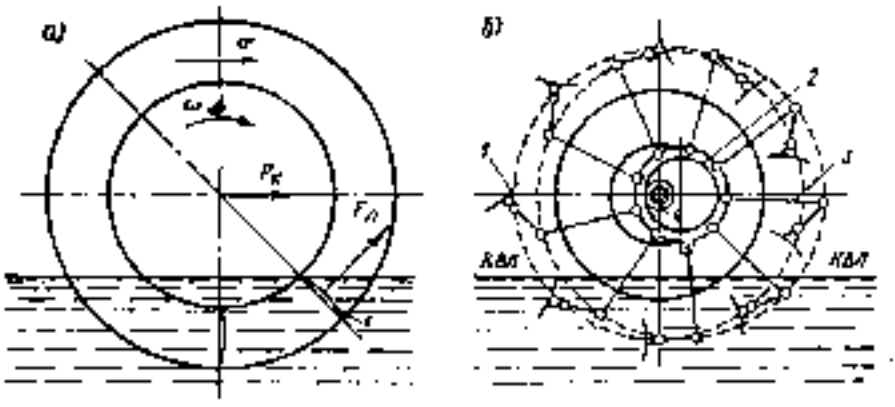


Рис. 58. Принцип действия (*а*) и схема (*б*) гребного колеса с поворотными лопастями:
1 — лопасти; 2 — эксцентриковый механизм; 3 — спицы; 4 — гребной вал

Вода засасывается гребным винтом через приемное отверстие в днище судна и выбрасывается с повышенной скоростью через напорный участок водометной трубы, создавая реактивную полезную силу тяги, действующую в сторону, противоположную направлению выброса струи.

На конце напорной части водометной трубы имеется специальное реверсивное устройство с балансирным рулем. Применение такого руля позволяет управлять судном, а также двигаться задним ходом (ЗХ) без реверса главного двигателя благодаря изменению направления выбрасываемой струи воды (положение руля при заднем ходе судна на рис. 59, *б* показано штриховой линией).

Основными достоинствами водометных движителей являются создание значительной полезной тяги при малой осадке судна, а также отсутствие движущихся частей снаружи корпуса, что дает возможность надежно защитить движитель от поломок при плавании судна на малых реках.

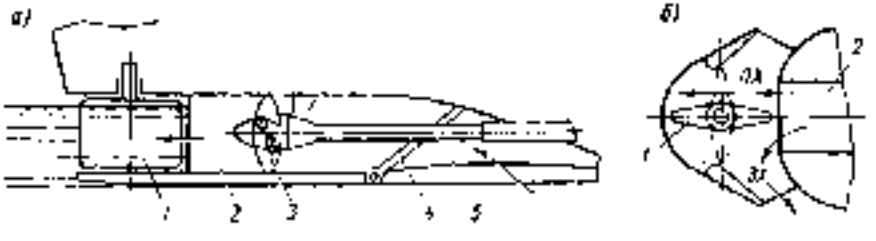


Рис. 59. Водометный движитель с подводным выбросом:
1 — руль; 2 — водометная труба; 3 — осевой насос (гребной винт); 4 — защитная решетка; 5 — гребной вал

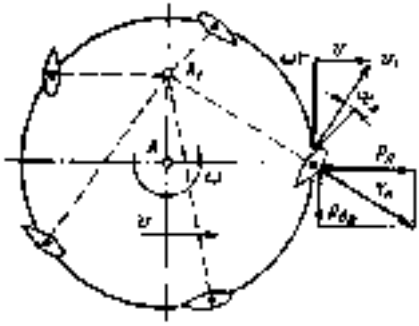


Рис. 60. Схема образования упора крыльчатого движителя

Крыльчатый движитель (рис. 60) представляет собой вращающийся вокруг вертикальной оси диск, по окружности которого на равных расстояниях находятся крылообразные поворотные лопасти (у применяемых крыльчатых движителей бывает 4—8 таких лопастей). Благодаря повороту лопасти обеспечивается оптимальный угол атаки и создается необходимый полезный упор движителя. Для этого лопасти, находящиеся на передней полуокружности ведущего колеса, располагают входящими кромками наружу, а на задней — внутрь. При таком движении лопастей все нормали к ним пересекаются в одной точке A — центре управления. Каждая лопасть находится в сложном движении: поворачивается вокруг собственной оси, вокруг вертикальной оси ротора и перемещается поступательно вместе с судном.

При обтекании лопасти потоком воды со скоростью v_1 под углом атаки $\alpha_л$ создается подъемная сила $Y_л$, проекции которой на направление движения судна дают силу полезного упора лопасти $P_л$ и силу сопротивления вращению $R_{вр}$. Перемещая центр управления, например, из точки A в точку A_1, можно осуществлять поворот лопастей вокруг собственной оси, тем самым изменяя направление и значение силы суммарного упора движителя, а следовательно, обеспечивать изменение скорости движения судна и его поворот без применения рулей, не изменяя частоту вращения и направление вращения главного двигателя.

Крыльчатые движители имеют большую массу, сложную конструкцию и уступают гребным винтам по эффективности действия, поэтому их применяют только на судах, к маневренности которых предъявляются особенно высокие требования (на морских портовых буксирах, паромах и т.д.).

48. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРЕБНОГО ВИНТА

Лопасть гребного винта представляет собой крыло, образованное участками двух винтовых поверхностей.

Если отрезок KD (рис. 61) вращать вокруг вертикальной оси OO_1, одновременно перемещая его вдоль этой оси, то каждая точка отрезка опишет винтовую линию, например точка D — линию $DCBA$. Совокупность таких линий представляет собой *винтовую поверхность*. При равномерном поступательном и вращательном движении отрезка KD получается винтовая поверхность постоянного шага.

Винтовую линию $ABCD$ поверхности постоянного шага можно развернуть на плоскость. При этом образуется шаговый угольник в виде прямоугольного треугольника, гипотенузой которого является развертка указанной винтовой линии, а катетами служит развертка окружности основания соосного цилиндра радиусом r_i и половина шага винтовой линии $H_в$. Шаг данной винтовой линии $H_в$ — путь, который проходит в направлении оси точка, взятая на винтовой линии за один полный оборот.

Угол подъема винтовой линии, называемый *шаговым углом*,

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{H_в}{2\pi r_i}. \qquad (151)$$

У гребных винтов шаговый угол меняется и имеет наибольшее значение у корня лопасти, т. е. в месте примыкания к ступице.

Профиль сечения лопасти может быть различным. Для гребных винтов чаще всего применяют авиационный, реже сегментный, а иногда и более сложные профили.

Линия пересечения нагнетающей и засасывающей поверхностей образует контур лопасти. Кромку лопасти C_0CE_0, которая первой входит в воду на переднем ходу (ПХ) судна, называют входящей, противоположную кромку — выходящей.

Применяют гребные винты правого и левого вращения. Винт правого вращения обеспечивает движение судна вперед при вращении его по часовой стрелке (вправо), винт левого вращения — против часовой стрелки.

Отношение шага гребного винта к его диаметру $H_в/D_в$ называют *шаговым отношением*, которое может изменяться от 0,6 до 1,5

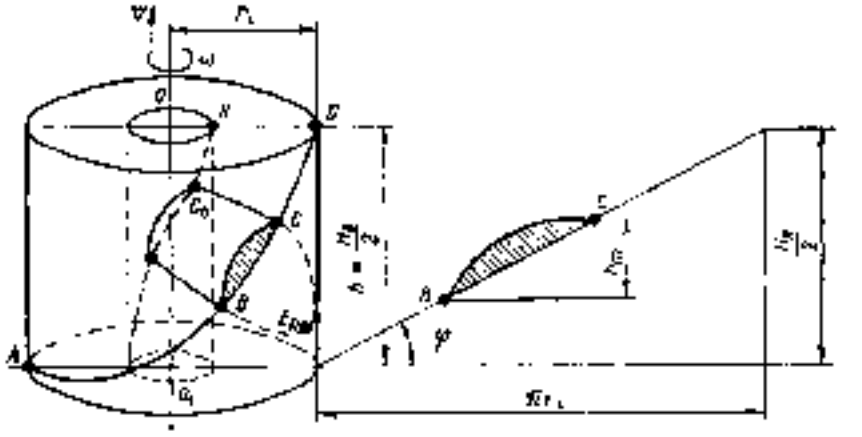


Рис. 81. Схема образования лопасти гребного винта

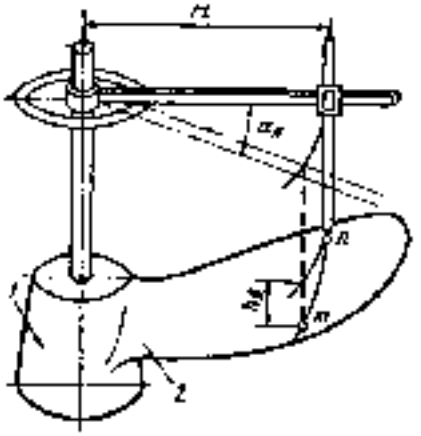


Рис. 62. Определение шага гребного винта:
1 — ступица; 2 — лопасть

Площадь окружности, диаметр которой равен диаметру гребного винта, называют *площадью диска винта*, отношение суммы площадей всех лопастей к площади диска — *дисковым отношением*:

$$\theta_b = \frac{z S_л}{\pi D_в^2 / 4}, \qquad (152)$$

где z — число лопастей гребного винта; $S_л$ — площадь одной лопасти, м²; $D_в$ — диаметр винта, м.

Дисковое отношение гребных винтов 0,4 —0,7, а для винтов быстроходных и некоторых специальных судов (ледоколов) достигает 1—1,5.

В зависимости от точности обработки поверхности лопастей гребные винты подразделяют на четыре класса: обычного, среднего, высшего и особого.

Винты *обычного класса* устанавливают на морские и речные суда, для которых скорость не является определяющим параметром.

Пассажирские водоизмещающие речные суда со скоростью менее 27 км/ч оборудованы гребными винтами *среднего класса*. На рыбопромысловые суда неограниченного района плавания, а также на суда со скоростью 27—44 км/ч устанавливают винты *высшего класса*, а на суда данного типа со скоростью 45 км/ч и более — винты *особого класса*. Вследствие повышения чистоты обработки поверхностей лопастей гребных винтов возможно снижение мощности главных двигателей до 10 %.

После изготовления винта его главную характеристику — шаг — измеряют в нескольких сечениях с помощью специальных приборов — шагомеров, которые позволяют одновременно измерить угол $\alpha_л$ и подъем винтовой линии $h_в$ (рис. 62) между точками n и m, произвольно взятых на лопасти. После соответствующих измерений шаг сечения H_r для нагнетательной поверхности лопасти винтов среднего и обычного классов определяют для данного радиуса r_c:

$$H_r = \frac{360}{\alpha_л} h_в, \qquad (153)$$

49. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГРЕБНОГО ВИНТА С КОРПУСОМ СУДНА

В реальных условиях работы судна гребной винт находится вблизи корпуса и взаимодействует с ним. Гидродинамическое взаимодействие гребного винта и корпуса принято разделять на две составляющие:

влияние потока воды, создаваемого корпусом судна, на работу винта; воздействие работающего гребного винта на обтекание жидкостью кормовой оконечности, а следовательно, на сопротивление воды движению судна.

За движущимся судном образуется попутный поток, скорость которого представляет собой разность скоростей движения судна и потока, набегающего на гребной винт.

Отношение средней скорости попутного потока к поступательной скорости судна называют *коэффициентом попутного потока*:

$$w = \frac{\Delta v}{v} = \frac{v - v_n}{v}, \qquad (154)$$

где Δv — скорость попутного потока, м/с; v — скорость судна, м/с; v_n — средняя скорость потока, м/с.

Из выражения (154) следует, что скорость потока в диске винта связана со скоростью судна зависимостью

$$v_n = v(1 - w). \qquad (155)$$

Значение коэффициента попутного потока зависит от формы и полноты кормовой оконечности, степени шероховатости обшивки и расположения гребного винта относительно корпуса. У одновинтовых судов коэффициент попутного потока равен 0,24—0,35, у двухвинтовых — 0,15—0,2.

Наличие неравномерного по диску винта попутного потока приводит к значительным колебаниям упора и момента винта, а следовательно, способствует появлению вибрации судна.

Работающий гребной винт сообщает дополнительные скорости окружающей жидкости и увеличивает скорость потока, обтекающего корпус. В результате появляется дополнительная сила, действующая на корпус в сторону, обратную движению судна, вызывающая увеличение сопротивления воды движению. Это дополнительное сопротивление называют *силой засасывания*.

Для того чтобы обеспечить судну заданную скорость, сила упора гребного винта должна быть больше силы сопротивления воды движению судна на значение, равное силе засасывания,

$$P_e = R + \Delta P, \qquad (156)$$

где R — сила сопротивления воды движению судна, кН; ΔP — сила засасывания, кН; P_e — полезная тяга гребного винта, кН.

Отношение силы засасывания к упору винта называется *коэффициентом засасывания*:

$$k_з = \frac{\Delta P}{P} = \frac{P - P_e}{P}. \qquad (157)$$

откуда сила упора гребного винта

$$P = \frac{P_e}{1-k}. \qquad (158)$$

Полезная сила гребного винта

$$P_e = P(1-k). \qquad (159)$$

Для одновинтовых судов $k = 0{,}15 \div 0{,}18$, для двухвинтовых $k = 0{,}08 \div 0{,}19$.

50. КАВИТАЦИЯ ГРЕБНОГО ВИНТА

Кавитация — нарушение сплошности внутри жидкости, т. е. образование в капельной жидкости полостей, заполненных газом или паром.

Кавитация занимает особое место в условиях работы гребного винта. Она возникает вследствие гидравлических ударов в связи с конденсацией паров, образующихся в зоне работы винта. Кавитационная полость (каверна) представляет собой объем, заполненный парами воды и растворенными в ней газами. Кавитация возникает в результате местного уменьшения давления ниже критического значения (для реальной жидкости оно приблизительно равно давлению насыщенного пара этой жидкости при данной температуре). Этот процесс называют *холодным кипением*, так как в зоне разрежения наблюдается парообразование воды при температурах окружающей среды. Поверхность лопасти разрушается от гидравлических ударов при захлопывании каверн вследствие конденсации паров при уменьшении разрежения.

Влияние кавитации определяется степенью ее развития. При большом положительном угле атаки каверна развивается от входящей кромки, захватывая часть профиля или весь профиль засасывающей поверхности (рис. 63, *а*). При снижении угла атаки до значений, близких к нулевым, зона кавитации развивается в средней части на засасывающей поверхности и у входящей кромки нагнетательной поверхности (рис. 63, *б*). До тех пор, пока каверна располагается в пределах профиля, на лопасти наблюдаются существенные разрушения от эрозии и происходит незначительное изменение гидродинамических характеристик. Дальнейшее увеличение скорости обтека-

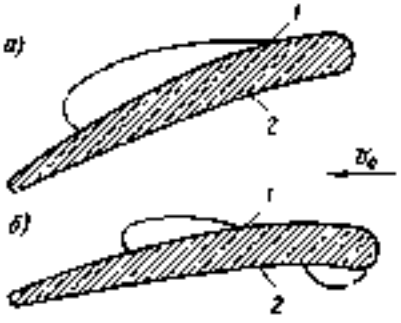


Рис. 63. Зоны появления кавитационных каверн на лопасти:

1, 2 — передняя и задняя поверхности крыла

ния вызывает развитие каверны с замыканием ее в потоке за профилем. При этом эрозия существенно снижается, но ухудшаются гидродинамические характеристики (КПД) винта.

При кавитационной эрозии сначала на лопасти появляются мелкие бороздки, затем развиваются глубокие раковины, из которых выкрашиваются кусочки металла, что может привести к разрушению лопасти. В зависимости от места расположения повреждений на лопасти *эрозия* может быть *корневой*, *кромочной* и *периферийной*.

При проектировании гребных винтов большинство их делают некавитирующими. Если это не удается, то стремятся уменьшить влияние кавитационной эрозии. С этой целью изготовляют винты из прочных материалов с низкой шероховатостью поверхности лопастей. Так, установка на речных судах гребных винтов из низколегированной стали вместо углеродистой позволяет увеличить срок их службы в два раза.

В отдельных случаях, например для СПК, с целью достижения максимального КПД винта приходится проектировать его работу в кавитационном режиме. При этом благодаря увеличению дискового отношения (применение широких лопастей) уменьшают относительную толщину сечения, а следовательно, снижают разрежение на засасывающей поверхности, уменьшая влияние эрозии.

Иногда проектируют суперкавитирующие гребные винты, каверны у которых замыкаются далеко за профилем лопастей, чем существенно снижают эрозию.

51. ГРЕБНЫЕ ВИНТЫ В НАПРАВЛЯЮЩИХ НАСАДКАХ

Для речных грузовых теплоходов большого водоизмещения или буксиров-толкачей, работающих с большегрузными составами, т. е. в том случае, когда требуется создание значительного упора при ограниченном диаметре гребного винта, целесообразно применять направляющие насадки.

Направляющая насадка представляет собой кольцеобразное тело, имеющее аэродинамический профиль продольных сечений. Наибольшая толщина насадки расположена приблизительно на расстоянии $b/3$ от входящей кромки профиля (рис. 64). Хорда профиля имеет небольшой подъем по направлению к входному сечению насадки, поэтому площадь выходного сечения насадки получается больше площади входного сечения.

Внутри насадки в наиболее узком месте расположен гребной винт с небольшим зазором между кромкой лопасти и насадкой. Из-за малого зазора между винтом и насадкой площадь ее рабочего сечения практически не отличается от площади диска винта. Сечение насадки, в котором расположен винт, делит ее на две части — входную и хвостовую.

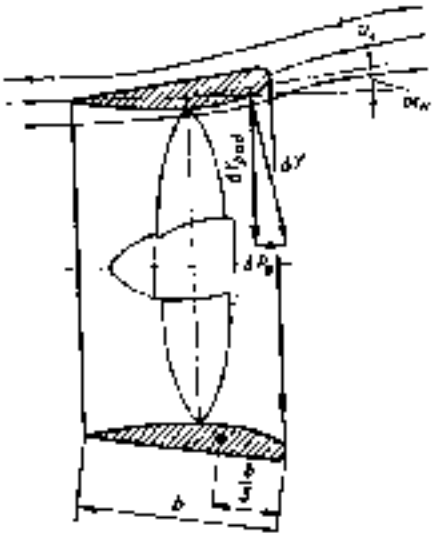


Рис. 64. Силы, возникающие на направляющей насадке при работе гребного винта

Направляющие насадки устанавливают двух видов: неподвижные и поворотные. Последние одновременно служат основным органом управления судном. В результате взаимодействия гребного винта с насадкой повышается КПД винта и возникает дополнительный полезный упор комплекса, создаваемый направляющей насадкой.

Благодаря специальному профилю насадки поток воды обтекает ее под некоторым углом $\alpha_н$ подобно элементу несущего крыла. Возникает подъемная сила ΔY, действующая перпендикулярно скорости потока $v_с$. Проекция равнодействующей ΔY на направление движения судна представляет дополнительную силу упора — силу упора насадки $\Delta P_н$.

Радиальные составляющие $\Delta Y_{рад}$, которые действуют в различных продольных сечениях, взаимно уравновешиваются ($Y_{рад} = 0$) и вызывают лишь сжатие кольца насадки, воспринимаемое ее жесткой конструкцией, и на движение судна не влияют.

Полезная сила упора всего комплекса винт — насадка

$$P_к = P_в + \Delta P_н, \qquad (160)$$

где $P_в$ — сила упора винта, кН.

Установка винтов в направляющих насадках для речных толкачей типов «Маршал Блюхер» и ОТ, движительный комплекс которых работает с относительно высокими нагрузками, повышает силу упора толкача до 20 %. Применение же насадок на грузовых теплоходах типа «Волго-Дон» повышает их скорость на 5—8 % при заданной мощности главных двигателей. Повышению эффективности комплекса винт — насадка способствует достаточно малый зазор между лопастями винта и насадкой, препятствующий перетеканию воды с нагнетающей стороны концевых сечений лопастей на засасывающую. Это снижает концевые потери, возникающие при работе винта и обусловленные выравниванием давлений между обеими сторонами лопасти вблизи ее края.

Кроме повышения пропульсивных качеств судна, направляющие насадки уменьшают размыв берегов в два каналов, предохраняют винт от повреждений при соприкосновении с дном и ударах о плавающие предметы и битый лед.

52. СОГЛАСОВАНИЕ РАБОТЫ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ И ГЛАВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ СУДНА

Работа гребного *винта фиксированного шага* (ВФШ) считается согласованной с работой двигателя, если при расчетной скорости судна $v_{расч}$ двигатель развивает номинальную мощность $N_{ном}$ при номинальной частоте вращения вала $n_{ном}$.

Если при номинальной мощности двигателя гребной винт развивает частоту вращения меньше номинальной ($n < n_{ном}$), то винт называют *гидродинамически тяжелым*. При этом, несмотря на недоиспользование мощности, двигатель будет перегружен, если не уменьшить его частоту вращения до значения, меньшего установившегося.

В том случае, когда при достижении номинальной частоты вращения $n_{ном}$ двигатель работает с мощностью, меньшей номинальной ($N < N_{ном}$), гребной винт считается *гидродинамически легким*.

На судах с ВФШ полное использование мощности соответствует лишь одному режиму движения. Выбор режима и затрачиваемая при этом мощность являются для каждого типа судов специальной технико-экономической задачей. Решение ее позволяет обеспечить средние скорости судна на заданной линии движения, не допуская перегрузки двигателей.

В процессе эксплуатации обоснованные режимы движения целесообразно определять по графикам, называемым *ходовыми характеристиками*, или *паспортными диаграммами* (рис. 65). В верхней части графика показаны кривые сопротивления воды для различных режимов движения судна. Кривых может быть много, но их можно разделить на три группы: R — расчетный режим, R_1 — с перегрузкой из-за влияния мелководья, R_2 — с недогрузкой, в том числе порожнем. Здесь же изображены кривые эффективной силы упора P_e, который может быть создан гребным винтом при работе двигателя по ограничительной (вкосной) характеристике P_e при $P = \text{const}$, а также при работе по регуляторной характеристике при номинальной частоте вращения $n_{ном}$ и на долевых режимах при $n_1 = 0{,}5\, n_{ном}$, $n_2 = 0{,}6\, n_{ном}$ и т. д.

На нижней половине графика приведены значения мощности, потребной для работы гребного винта на заданном режиме. Кривая N_e при $P = \text{const}$ соответствует работе двигателя по ограничительной характеристике, а серия кри-

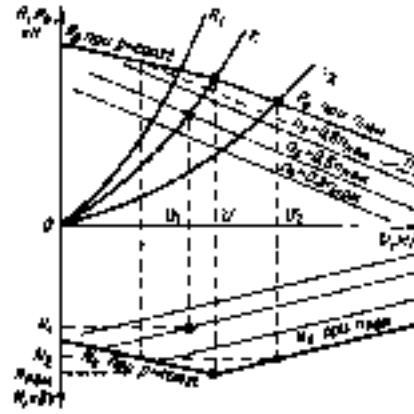


Рис. 65. Ходовые характеристики судна

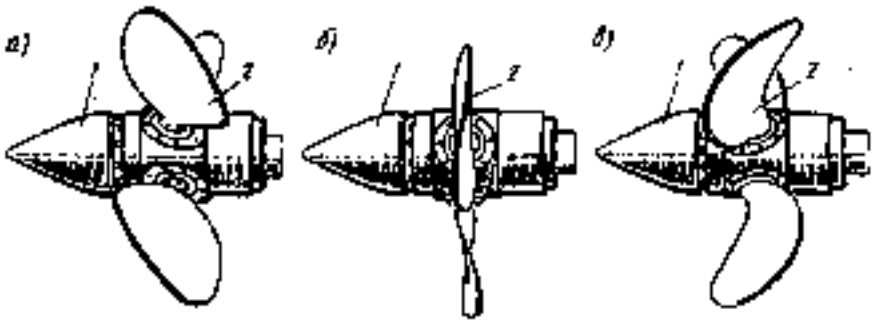


Рис. 66. Гребной винт регулируемого шага:
1 — обтекатель, 2 — лопасть

вых N — работе по регуляторной характеристике при n_{max} и на долевых режимах.

Графики дают возможность правильно выбрать частоту вращения вала двигателя, обеспечивающую заданную скорость, и оценить потребляемую при этом мощность. Рассмотрим несколько примеров.

Скорость судна при любой загрузке определяется условием $P_z = R$. Если загрузка судна и условия плавания соответствуют сопротивлению R (см. рис. 65), то при полном использовании мощности N_{max} скорость будет v.

Чтобы при этой же загрузке (кривая R) скорость была равной v_1, необходимо установить частоту вращения вала двигателя $n = 0{,}6n_{max}$. При этом гребной винт будет потреблять мощность N_1, что определяют по нижней половине графика.

Если судно оказывается в более тяжелых условиях плавания (кривая сопротивления R_1), то гребной винт будет гидродинамически тяжелым, и для исключения перегрузки двигателя частота вращения не должна превышать величины n_1.

При плавании судна в режиме, соответствующем кривой R_2, винт будет гидравлически легким. Максимальная скорость может быть v_2 при использовании мощности N_2.

Оценка соответствия гребного винта может быть получена только в результате ходовых испытаний судна. В ходовые испытания входят скоростные и тяговые динамометрические испытания.

Скоростные испытания проводят для получения данных о максимальной скорости судна на тихой и глубокой воде при использовании полной мощности главных двигателей. Скорость судна измеряют на мерных линиях, контрольный участок которых ограничен береговыми створами. При выборе мерной линии необходимо учитывать защищенность участка от господствующих ветров и глубину фарватера, чтобы исключить влияние мелководья. Обязательное условие — достаточное пространство по обоим концам мерной линии для свободного разворота судна после окончания пробега на мерной линии и его разгона до максимальной скорости перед выходом на первые створы.

Тяговые динамометрические испытания проводят для измерения силы тяги на гаке буксирного судна, буксирующего состав, при различной частоте вращения двигателя. Силу тяги на гаке измеряют динамометром. Таким испытаниям подвергают буксирные суда и ледоколы. С целью исключения влияния работы гребных винтов на сопротивление состава длина буксирного каната при испытаниях должна быть не менее 150 м.

Полное использование мощности главных двигателей при различных условиях плавания возможно лишь в случае применения гребных ВРШ, которые позволяют при неизменной частоте и направлении вращения гребного вала посредством поворота лопастей изменять скорость судна от максимальной на переднем ходу (рис. 66, *а*), до нулевой (рис. 66, *б*) и осуществлять задний ход (рис. 66, *в*).

Суда с ВРШ имеют повышенные маневренные качества. Несмотря на увеличенную массу, сложность конструкции и меньший КПД на расчетном режиме по сравнению с ВФШ, винты регулируемого шага применяют на морских судах различных классов, на речных судах их пока не применяют из-за сложности конструкции, а следовательно, и значительной стоимости.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите типы судовых движителей.
2. Что такое дисковое отношение гребного винта?
3. Что такое геометрический шаг винтовой линии и как его определить?
4. Дайте определение кавитации.
5. Как влияет направляющая насадка на полезную силу упора комплекса гребной винт — насадка?
6. Какой гребной винт называют гидродинамически тяжелым, а какой — гидродинамически легким?
7. Какие преимущества имеет гребной винт регулируемого шага?

УСТРОЙСТВО, ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОСТРОЙКИ СУДОВ

Глава X

КОНСТРУКЦИИ КОРПУСОВ СУДОВ

53. Понятие о прочности корпуса и ее нормировании

Прочность корпуса определяет способность судна воспринимать действующие в процессе эксплуатации нагрузки, не разрушаясь. Для оценки прочности судна определяют внешние нагрузки, действующие на корпус, напряжения в различных наиболее нагруженных его элементах и сопоставляют их с нормативными допускаемыми значениями. Если полученные расчетом напряжения не превышают допустимые, то прочность корпуса считается обеспеченной. При этом очень важно, чтобы прочность корпуса была достаточной при минимальной массе. Корпусы речных судов рассчитывают в соответствии с Правилами Речного Регистра РСФСР.

На корпус движущегося судна могут действовать постоянные и случайные нагрузки. *Постоянные нагрузки*, действующие в течение всего периода эксплуатации, — это вес корпуса, надстроек, судовых механизмов и принятого груза, силы поддержания и силы сопротивления воды движению судна. *Случайные нагрузки* воздействуют на корпус в течение какого-либо промежутка времени и возникают при ударах волн, посадке судна на мель, столкновении судов.

Для упрощения расчетов действующие нагрузки условно делят на две категории: вызывающие общий изгиб корпуса или местный изгиб отдельных его элементов.

При плавании на тихой воде изгиб корпуса вызывается неравномерностью распределения по длине судна сил тяжести и сил поддержания. Для построения эпюры весовой нагрузки $q_в$ (рис. 67, *а*) принимают, что силы тяжести, действующие в пределах каждой теоретической шпации, распределены равномерно. Значение этих сил рассчитывают для каждой шпации отдельно с учетом всех составляющих. Силы поддержания распределяются по длине судна пропорционально погруженным площадям шпангоутов, что и отражает эпюра этих сил $q_п$.

Полученную ступенчатую нагрузку, равную разности сил тяжести и сил поддержания, называют *эпюрой нагрузки судна* q (рис. 67, *б*).

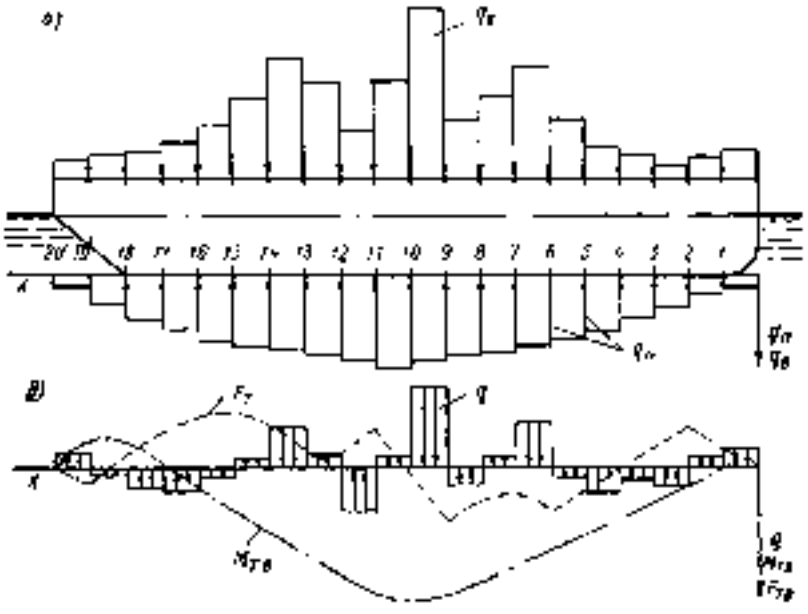


Рис. 67. Эпюры нагрузок, вызывающих общий изгиб корпуса

По нагрузке судна вычисляют срезывающие силы $F_{тв}$ и изгибающие моменты $M_{тв}$, действующие на корпус при плавании на тихой воде. Их определяют соответственно как сумму сил или сумму моментов, взятых слева или справа от рассматриваемого сечения. Значение и знак изгибающего момента в каждом сечении корпуса зависят от характера распределения нагрузок по длине судна. Очевидно, что чем больше неравномерность нагрузки, тем больше и изгибающий момент.

При выходе судна на волну силы поддержания перераспределяются по длине корпуса благодаря изменению формы погруженного объема. При этом судно может попасть миделем на вершину (рис. 68, *а*) или на впадину волны (рис. 68, *б*). В первом случае в палубе возникают дополнительные напряжения растяжения (+ Δσ), а в днище — сжатия (— Δσ), что соответствует перегибу корпуса; во втором, наоборот, палуба подвергается дополнительному сжатию, а днище — растяжению, что соответствует прогибу корпуса.

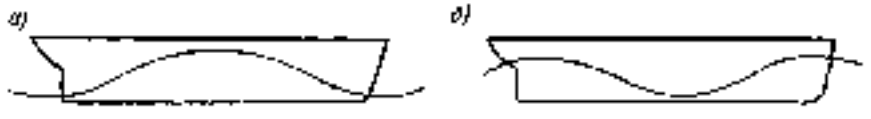


Рис. 68. Положение судна при постановке на волну

Наибольшие расчетные изгибающие моменты как для прогиба, так и для перегиба ($M_р$, кН · м) вычисляют алгебраическим суммированием наибольших значений изгибающих моментов, возникающих на тихой воде, с дополнительным волновым изгибающим моментом $M_{дв}$:

$$M_р = M_{тв} + M_{дв}. \qquad (161)$$

Аналогично наибольшие расчетные перерезывающие силы как для прогиба, так и для перегиба определяют алгебраическим суммированием наибольших значений перерезывающих сил, возникающих на тихой воде $F_{тв}$, с дополнительной волновой перерезывающей силой $F_{дв}$:

$$F_р = F_{тв} + F_{дв}. \qquad (162)$$

Способность корпуса выдерживать нагрузки, действующие на отдельные его перекрытия и связи, определяет *местную прочность*. Среди местных нагрузок выделяют гидростатическое давление при аварийных затоплениях отсеков, сосредоточенные и распределенные силы при приеме и снятии грузов в районе грузоподъемных устройств, реакции кильблоков при постановке в док, сосредоточенные силы при швартовке и буксировке, силы обжатия корпуса льдом при ледовой проводке судна.

Давление воды на поперечное сечение корпуса (рис. 69) определяют с учетом движения судна на волнении, т. е. нагрузки на днище $q_д$ и на борта $q_б$ вычисляют по осадке уровня волновой ватерлинии. Прочность палубных перекрытий должна обеспечивать восприятие поперечной равномерно распределенной нагрузки $q_п$.

Правилами постройки ледоколов и транспортных судов для плавания в ледовых условиях предусматривается комплекс конструктивных мероприятий по подкреплению корпуса, обеспечивающих безопасность плавания во льдах.

Днищевые перекрытия речных судов проверяют также на восприятие реакции платформ и кильблоков косяковых тележек при подъеме судов на слипы.

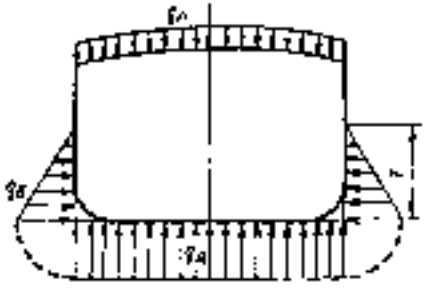


Рис. 69. Эпюры нагрузок, действующих на поперечное сечение судна

Нормальные σ и касательные τ напряжения в связях корпуса:

$$\sigma = \frac{M_р}{W}, \quad \tau = \frac{F_р S}{Jt}, \qquad (163)$$

где $M_р$ — расчетное значение изгибающего момента, кН · м; W — момент сопротивления, м³; $F_р$ — расчетное значение срезывающей силы, кН; S — статический момент площади поперечного сечения относительно нейтральной оси, м³; J — момент инерции пло-

шади поперечного сечения относительно нейтральной оси, м²; t — толщина листа в рассматриваемом сечении по линии кратчайшего разреза, м.

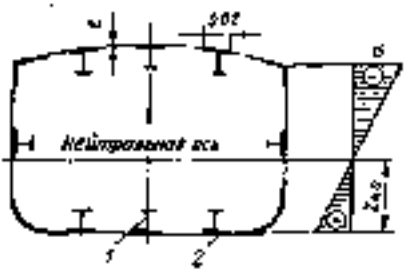


Рис. 70. Определение напряжений в связях корпуса судна.

1 — продольные балки набора; 2 — пояса обшивки корпуса, включенные в расчет при определении напряжений от общего изгиба

Фактические напряжения в конструкциях корпуса вычисляют как алгебраическую сумму напряжений от общего изгиба и местных нагрузок.

При вычислении *напряжений от общего изгиба* (рис. 70) в расчетное сечение корпуса судна для определения момента инерции и момента сопротивления включают все продольные балки набора, а также пояса днищевой и бортовой обшивок и настила палубы. Листы обшивки, расположенные между балками набора, при критических нагрузках выгибаются и теряют устойчивость. Поэтому усилия общего изгиба будут воспринимать только пояски обшивки, непосредственно примыкающие к продольным балкам набора. Ширину поясов принимают равной $50t$ (где t — толщина обшивки корпуса).

По полученным значениям моментов сопротивления рассчитывают нормальные напряжения для всех сечений, которые по высоте корпуса распределяются по линейному закону. В крайних волокнах палубы и днища напряжение достигает максимального значения. В данном случае сечение палубы испытывает напряжение сжатия $-\sigma$, а сечение днища — напряжение растяжения $+\sigma$. Положение нейтральной оси, где нормальные напряжения в сечениях корпуса равны нулю, определяется ординатой $z_{но}$.

Существенное значение для обеспечения эксплуатационной прочности корпуса имеет как порядок размещения груза в трюме или на палубе (равномерность укладки), так и очередность загрузки трюмов. Нарушение технологии загрузки может вызвать дополнительный изгибающий момент и привести к перелому корпуса судна. Речным Регистром РСФСР утверждается инструкция по погрузке, выгрузке и балластировке для судов каждого типа. Отклонение от инструкции может привести к нарушению прочности, поэтому выполнение ее должно строго соблюдаться командным составом судна.

Правилами Регистра установлено два способа расчета прочности: по допускаемым напряжениям и разрушающим (предельным) нагрузкам. В первом случае за расчетные напряжения в проверяемой связи корпуса принимают наибольшие нормальные и касательные напряжения, которые не должны быть больше допускаемых. Так, суммарные напряжения от общего изгиба и местной нагрузки в продольных балках набора могут составлять $0{,}75\,\sigma_т$ для сечений посередине

пролета и $0{,}85\,\sigma_т$ для опорных сечений (где $\sigma_т$ — напряжение в связях корпуса, соответствующее пределу текучести).

В поперечных связях корпуса, воспринимающих лишь усилия от местных нагрузок, напряжения могут достигать $0{,}75\sigma_т$, а в отдельных элементах водонепроницаемых переборок — предела текучести.

При проверке прочности по касательным напряжениям нормы допускаемых напряжений принимают равными половине значения допускаемых нормальных напряжений. При этом касательные напряжения от общего изгиба не должны превышать $0{,}3\sigma_т$. При проверке прочности конструкций корпуса по разрушающим нагрузкам устанавливают, во сколько раз действующие усилия должны быть меньше предельных, приводящих конструкцию к разрушению.

Общую прочность корпуса при проектировании судна проверяют по предельным моментам. Под *предельным* понимается момент, изгибающий корпус судна и вызывающий в наиболее удаленной кромке эквивалентного бруса сжимающие или растягивающие напряжения, равные пределу текучести материала:

$$M_{пр} = \sigma_т W_н, \qquad (164)$$

где $W_н$ — момент сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса, м³.

Эквивалентный брус — это идеализированная балка, эквивалентная корпусу судна по сопротивляемости продольному изгибу, т. е. имеющая одинаковые с корпусом момент инерции, момент сопротивления поперечного сечения и нормальные напряжения. Эквивалентный брус является расчетной моделью корпуса для вычислений, связанных с проверкой общей прочности судна.

В эквивалентный брус включают все продольные связи корпуса, находящиеся в рассматриваемом сечении и идущие непрерывно на протяжении, большем, чем удвоенная высота борта, при условии, что соединение этих связей с корпусом обеспечивает участие их в общем изгибе.

Для обеспечения прочности корпуса по предельному моменту должно выполняться условие

$$M_{пр} \geqslant k M_р, \qquad (165)$$

где k — коэффициент запаса прочности по предельному моменту, $M_р$ — расчетный изгибающий момент при прогибе или перегибе, кН · м.

Значения коэффициента k принимаются независимо от марки применяемой стали равными: 1,35 для эквивалентного бруса, жесткие связи которого не несут местную нагрузку; 1,5 для бруса, жесткие связи которого несут местную нагрузку.

Для изготовления корпусов речных судов применяют судостроительные стали, алюминиевые сплавы и неметаллические материалы. С 1 января 1988 г. введен в действие ГОСТ 5521—86 «Прокат стальной для судостроения. Технические условия», в соответствии с которым металлургическая промышленность выпускает углеродистую и низколегированную толстолистовую (толщиной более 4 мм) и тонколистовую (до 4 мм), полосовую и профильную прокатную сталь.

Листы толщиной 4—20 мм металлургические заводы изготовляют с интервалом 0,5 мм, более 20 мм — с интервалом 1 мм. По требованию потребителя листы толщиной 8—50 мм, шириной 1600—3200 мм могут быть изготовлены длиной до 16 000 мм. Применение крупногабаритных листов позволяет значительно снизить трудоемкость строящихся судов вследствие уменьшения протяженности сварных швов.

Классификация судостроительных сталей приведена в табл. 5. В марках буквы расшифровываются следующим образом: А, В, Д, Е — группы сталей; Ст — сталь; цифра 3, следующая за этими буквами, — условный номер марки; сп, пс и кп — степень раскисления стали — соответственно спокойная, полуспокойная и кипящая; ня-

Таблица 5

Марки стали	Временное сопротивление, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение	Толщина листа, мм
А Б Д Е	400—490	235	22	4—50 5—50 5—50 5—50
А32 Д32 Е32	470—590	315	22	4—40 5—20 5—20
А36 Д36 Е36	490—620	355	21	4—40 5—15 5—15
А40 Д40 Е40	530—690	390	19	4—15 5—15 5—15
09Г2 10ХСНД ВСт3сп2	440 530 350—480	300 390 235	21 19 20	4—30 4—15 4—60

Таблица 6

Марки сталей	Толщина листа, мм	Область применения
А40, Д40, Е40, А36, Д36, Е36, А32, Д32, Е32, Е, Д, В (спокойная), 10ХСНД, 09Г2, ВСт3сп2	Любая толщина	Для судов всех классов без ограничения
ВСт3сп2	4 мм и менее	
ВСт3пс4, ВСт3Гпс4	Любая толщина	Для судов всех классов, за исключением ледового пояса
ВСт3сп3	То же	Для судов классов М, О, Р, Л, кроме ледового пояса
А, ВСт3пс3, ВСт3Гпс3	»	Для судов классов О, Р, Л, кроме ледового пояса и конструкций упорных и сцепных устройств
ВСт3сп2	5—12	
ВСт3пс2	3, 9	
А, ВСт3сп2	14 мм и более	Для судов всех классов, конструкций, не участвующих в общей прочности, кроме конструкций упорных и сцепных устройств
ВСт3пс2	4 мм и более	
ВСт3Гпс2, ВСт3сп2	Любая толщина	

личие легирующих элементов показывают буквы: Г — марганца, С — кремния, Д — меди, Х — хрома, Н — никеля.

Легированные стали значительно дороже углеродистых, поэтому целесообразность их применения тщательно обосновывают. Обычно из них выполняют наиболее напряженные связи корпуса — палубный стрингер, кожинсы люков.

Углеродистые стали с $\sigma_т = 235$ МПа обозначают только буквой соответствующей группы, а стали повышенной прочности — буквой (группа) и двумя цифрами (значение предела текучести), что соответствует международным требованиям. Например, Д40 — это сталь с пределом текучести не менее 390 МПа.

Марки сталей, применяемых в речном судостроении, приведены в табл. 6. В отдельных случаях по согласованию с инспекциями Речного

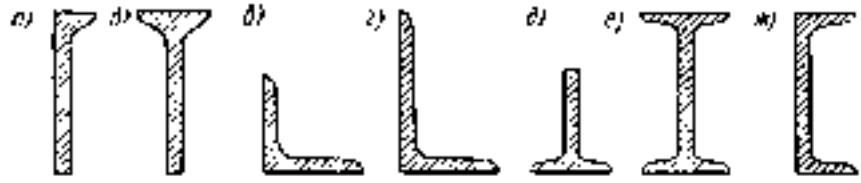


Рис. 71. Профильный прокат:

а, б — полособульб несимметричный и симметричный; в, г — угольники равнобокий и неравнобокий; д — тавр; е — двутавр; ж — швеллер

Таблица 7

Классы судов	Марки алюминиевого сплава при длине судна, м		
	менее 30	30—70	более 70
М, О	АМг2 АМг3	АМг3 АМг5	АМг5 АМг61
Р, Л	АМг2 АМг2	АМг2 АМг3	АМг3 АМг5, АМг61

Примечание. Марки сплавов, указанные над чертой, применяются для наружной обшивки, настилов палуб и обшивки переборок, а под чертой — для набора.

Регистра допускается применение сталей других марок, отвечающих предъявляемым требованиям для данной конструкции.

Профильный прокат (рис. 71) поставляется судостроительным предприятиям из сталей марок ВСт3сп2, ВСт3пс2, ВСт3кп2, ВСт3сп3, ВСт3сп4, 09Г2, 09Г2С и 10ХСНД. В последнее время металлургическими заводами освоено производство профильного проката из стали высоких категорий: Д, Е, Д32, Е32, Д36, Е36, Д40 и Е40.

Использование листового и профильного проката из низколегированных сталей обеспечивает улучшение эксплуатационных характеристик судов прежде всего в отношении срока службы корпусов.

Алюминиевые сплавы в судостроении применяют для изготовления корпусов и надстроек судов на подводных крыльях и воздушной подушке, а также (с целью уменьшения осадки и улучшения остойчивости) надстроек пассажирских теплоходов типа «Москва», верхнего вруса надстроек теплоходов типа «Родина» (пр. 588) и др.

В судостроении широко распространены сплавы алюминия с магнием, обладающие малой плотностью и высокой коррозионной стойкостью. Правилами Речного Регистра РСФСР рекомендуется применять марки алюминиевых сплавов в зависимости от класса и длины судна, назначения элемента корпуса или надстройки (табл. 7).

Характеристикой прочности алюминиевых сплавов является предел текучести, в зависимости от марки $\sigma_т$ — 157÷245 МПа.

В качестве судостроительных материалов используют также пластмассы, железобетон и дерево.

55. СОЕДИНЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА

Конструкции корпуса судна собирают из листового и профильного проката (см. рис. 71). При этом отдельные элементы конструкций соединяют между собой, обеспечивая необходимую прочность и плотность как непосредственно соединения, так и всего корпуса. В зависи-

мости от способа соединения деталей в судостроении применяют сварные и заклепочные соединения.

Сварные соединения являются преобладающим типом соединений стальных конструкций. Чаще всего применяют полуавтоматическую, автоматическую и ручную электродуговую сварку. Основные типы и конструктивные элементы сварных швов регламентируются государственными стандартами.

В зависимости от толщины металла кромки деталей сваривают без разделки или с разделкой. Стыковые соединения без разделки кромок с подваркой используют для сварки наружной обшивки корпусов и надстроек речных судов при толщине металла до 4 мм. При соединении листов толщиной более 4 мм разделывают кромки V-образно.

Угловые сварные соединения также бывают с разделкой и без разделки кромок. Первые применяют, например, для сварки шпрюка с палубным стрингером, вторые — при изготовлении вертикальных фундаментов.

Для набора корпуса и надстроек используют тавровые сварные соединения. Швы тавровых и угловых сварных соединений могут быть непрерывными, прерывистыми и точечными. Последние два шва используют в тех случаях, когда от конструкции не требуется герметичность, а только прочность. Прерывистые швы соединений характеризуются шагом.

В зависимости от положения, занимаемого в пространстве, все сварные швы делят на нижние, потолочные, горизонтальные и вертикальные.

Заклепочные соединения (рис. 72) применяют лишь при постройке судов из легких сплавов. Клепку конструкций из алюминиевых сплавов производят холодными отожженными заклепками из сплава марки АМг5. Отверстия для заклепок выполняют сверлением. Расстояние центров отверстий заклепок от кромок должно быть не менее $1.5d$ (где d — диаметр заклепки). Диаметр отверстия принимают на 0,5 — 1 мм больше диаметра заклепки.

Конструкции с заклепочными соединениями при изготовлении не коробятся, в них отсутствуют остаточные напряжения. Однако они могут терять прочность при эксплуатации ввиду расшатывания заклепок. Масса клепаных конструкций значительно больше равнопрочных сварных из-за перекрытия листов и выступающих головок заклепок.

Соединение балок набора корпуса для образования замкнутых конструкций основано на принципе совмещения связей в одной плоскости. Балки набора, стенки которых расположены в одной плоскости, соединяют кницами. Типы и размеры книц принимают в соответствии с Правилами Речного Регистра РСФСР. Их толщина должна быть не менее толщины наиболее слабого из соединяемых элементов. Размеры сторон книц определяют в зависимости от профиля соединяемых балок. Так, при соединении элементов холостого набора катет кницы должен перекрывать набор на протяжении не менее двух высот меньшего

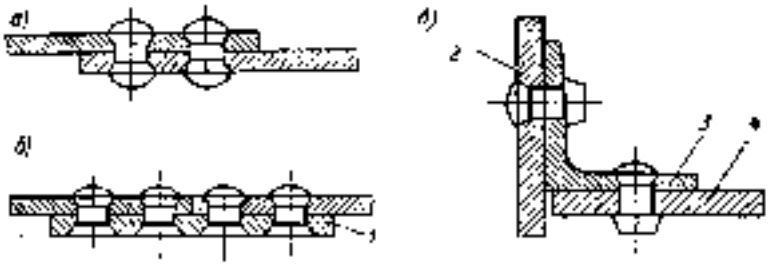


Рис. 72. Заклепочные соединения:

а — соединение листов обшивки внахлестку двухрядным заклепочным швом заклепками с полукруглой закладной головкой; *б* — соединение листов с вынесенной планкой четырехрядным заклепочным швом заклепками с потайной закладной головкой; *в* — соединение палубного стрингера с широким вырезом заклепками с бомбообразной закладной головкой; *1* — накладная планка; *2* — шпангоут; *3* — соединительный уголок; *4* — палубный стрингер

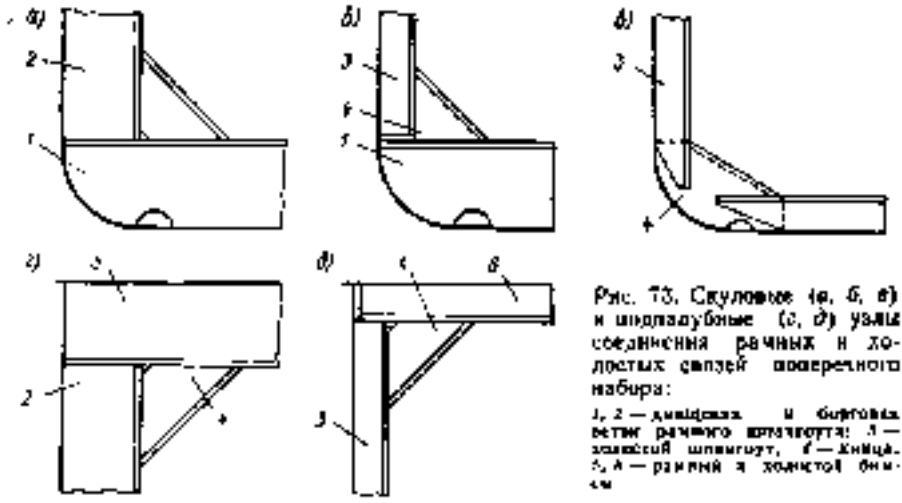


Рис. 73. Скуловые (*а*, *б*, *в*) и подпалубные (*г*, *д*) узлы соединения рамных и холостых связей поперечного набора:

1, *2* — диаметральная и бортовая ветви рамного шпангоута; *3* — холостой шпангоут; *4* — кница; *5*, *6* — рамный и холостой бимсы

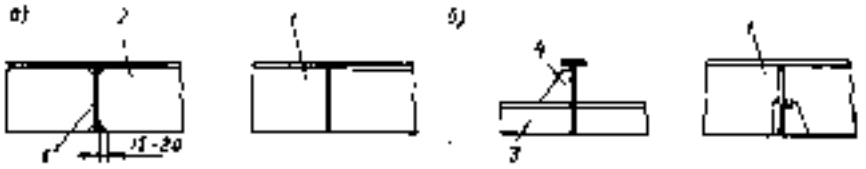


Рис. 74. Узлы пересечения поперечных (*а*) и продольных (*б*) связей:

1 — шпангоут; *2*, *3* — рамный и холостой шпангоуты; *4* — кница

шего профиля, а при соединении элементов рамного набора — не менее одной высоты меньшего профиля.

Если кницы устанавливают по обе стороны переборки или рамной связи, особое внимание обращают на обеспечение их соосности. Кницы, у которых длина одной из сторон более 30 толщин, должны иметь по свободной кромке приваренную полосу. Виды соединений балок набора корпуса речных судов показаны на рис. 73 и 74.

5в. СИСТЕМЫ НАБОРА КОРПУСА

Общие сведения. Системой набора корпуса называют способ размещения балок набора. В зависимости от расстояния между балками набора и ориентации сторон получаемых при этом прямоугольников (вдоль или поперек судна) различают продольную и поперечную системы набора. Если поперечные балки набора расположены чаще, чем продольные, и образующиеся набором прямоугольники своими длинными сторонами ориентированы поперек судна, то система набора носит название *поперечной* (рис. 75, *а*). Если же балки продольного направления расположены чаще, чем поперечные, и прямоугольники своими длинными сторонами ориентированы вдоль судна, то система набора носит название *продольной* (рис. 75, *б*).

Поперечная система набора (рис. 76, *а*). В соответствии с Правилами Речного Регистра РСФСР шпацию в средней части корпуса принимают равной 550—600 мм. Связи набора, расположенные в поперечном сечении корпуса, образуют шпангоутную раму, или просто *шпангоут*. В зависимости от профиля балок, входящих в шпангоутную раму, различают рамные, флорные и холостые шпангоуты.

Рамные шпангоуты, являющиеся главными балками поперечного набора, воспринимают основную нагрузку от давления воды и груза. Они состоят из усиленных сварных балок рамного шпангоута днища,

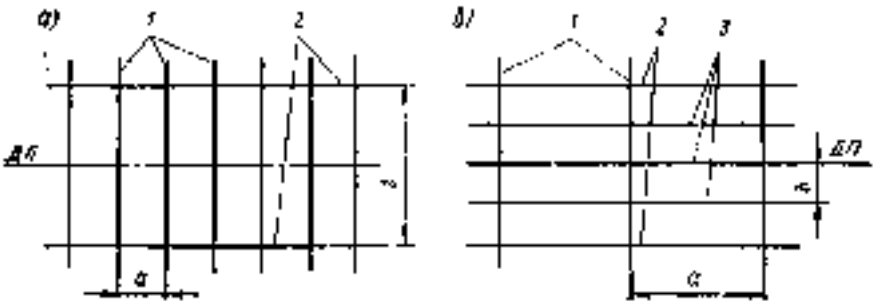


Рис. 75. Поперечная и продольная схемы систем набора:
1 — шпангоуты; 2 — кильсоны; 3 — продольные связи

рамного шпангоута борта и рамного бимса, которые соединены между собой при помощи книц (см. рис. 73, *а, е*).

Флорные шпангоуты состоят из холостых бимсов, холостых бортовых шпангоутов и усиленных сварных или штампованных балок днища — флоров (см. рис. 73, *б, д*).

Холостые шпангоуты имеют по всему периметру балки полособульбового или углового профиля (см. рис. 73, *в, д*). Они служат для поддержания наружной обшивки и передают нагрузки более жестким балкам продольного набора днища — *килсонам*, палубы — *карлингсам*, борта — *бортовым стрингерам*.

Рамные и холостые шпангоуты при поперечной системе набора чередуются в зависимости от типа судна и назначения отсека. Расстояние между рамными балками, как правило, не превышает четырех шпаций.

Продольные связи — килсоны, карлингсы и бортовые стрингеры — при этой системе набора выполняют только рамного профиля. На всех судах устанавливают средний килсон. Количество боковых килсонов зависит от ширины судна, а расстояние между ними — от типа судна (1500—2500 мм). Карлингсы устанавливают в одной вертикальной плоскости с килсонами.

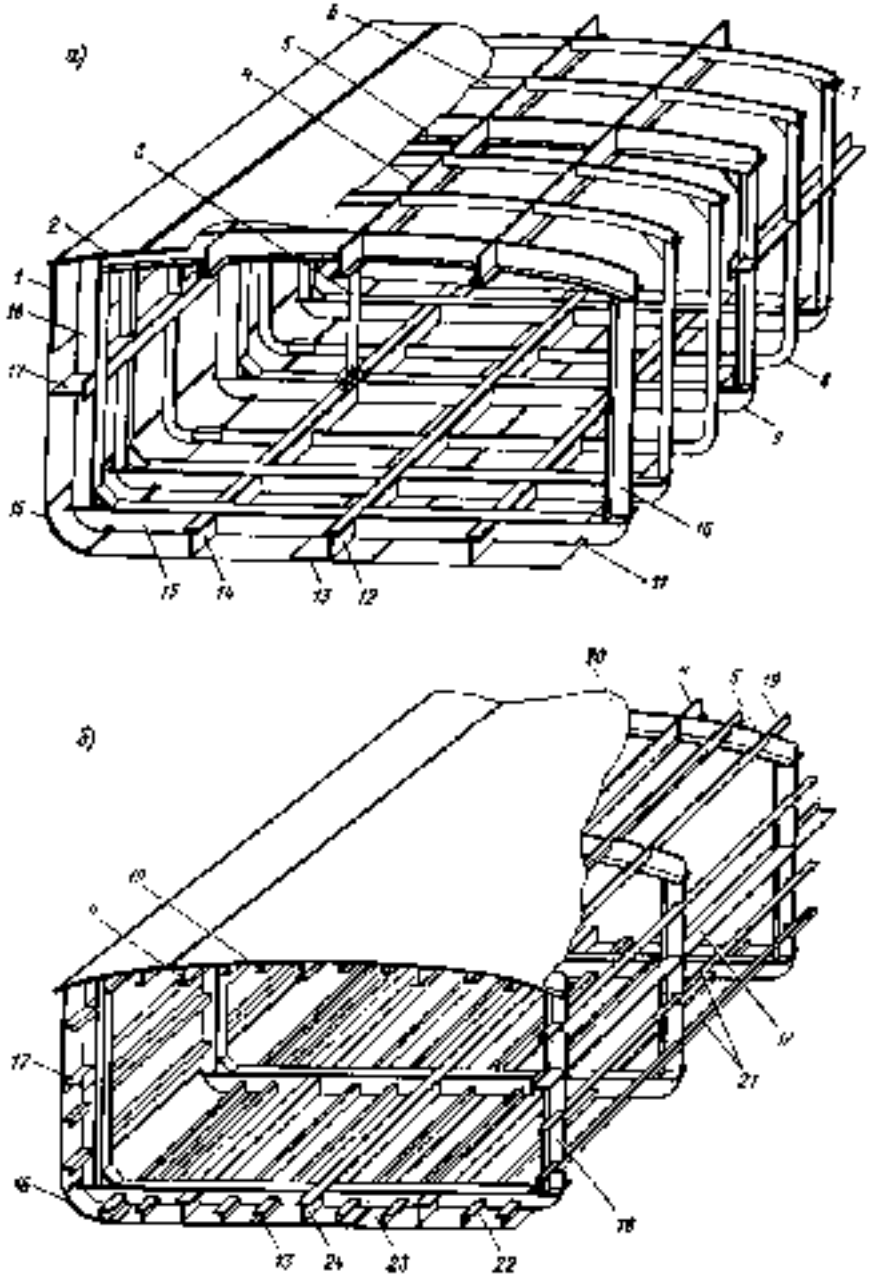
Днищевые и палубные перекрытия соединяют вертикальными стойками — *пиллерсами*.

Количество бортовых стрингеров зависит от высоты борта судна: при высоте борта до 4 м устанавливают один бортовой стрингер, более 4 м — два.

Поперечная система набора обеспечивает корпусу судна большую местную прочность, технологична в изготовлении при криволинейных обводах корпуса, поэтому ее широко используют при строительстве судов с малыми отношениями L/B. Корпуса с поперечной системой набора редко применяют при длине судов более 70 м.

Продольная система набора (рис. 76, *б*). Главными балками, воспринимающими основные нагрузки, являются продольные балки рамного и холостого профилей. Поперечными связями служат рамные шпангоуты, которые устанавливают через три-четыре шпации, т. е. на расстоянии 1650—2400 мм друг от друга. Расстояние между холостыми балками продольного набора принимают 500—600 мм, а килсоны и карлингсы устанавливают на расстоянии 1500—2500 мм друг от друга.

Продольная система набора обеспечивает повышенную прочность корпуса на изгиб, так как листы обшивки, подкрепленные продольными ребрами жесткости, устойчиво работают на сжатие. Поэтому продольную систему набора применяют при изготовлении корпусов судов значительной длины. К недостаткам продольной системы набора относят более сложную стыковку секций при сварке корпуса и меньшую поперечную прочность.


а)
б)

Смешанная система набора. Смешанную систему набора часто применяют при строительстве речных судов внутреннего плавания. В средней части корпуса судна, где действуют наибольшие изгибающие моменты, перекрытия палубы и днища изготовляют по продольной системе набора. Перекрытия же бортов, испытывающих значительные местные нагрузки, набирают по поперечной системе. Целиком по поперечной системе набора выполняют носовую и кормовую оконечности судна.

57. НАРУЖНАЯ ОБШИВКА КОРПУСА И НАСТИЛ ПАЛУБЫ

Наружную обшивку корпуса и настил палубы сваривают из отдельных листов, длинные кромки которых направляют вдоль судна; они образуют пояса обшивки. Швы листов, идущие поперек судна, называют *стыками*, а вдоль судна — *пазами*. Стыки должны лежать на расстоянии $^1/_4$ — $^1/_3$ шпации от шпангоутов.

Для определения количества и размеров стальных листов, необходимых для постройки корпуса, вычерчивают растяжку наружной обшивки и палубного настила с показанием всех стыков и пазов, а также набора корпуса. Обшивку растягивают поперек судна по шпангоутам по одну сторону от ДП.

Обшивка и настил палубы являются основными связями эквивалентного бруса, обеспечивающими общую и местную прочность корпуса. Роль отдельных поясов обшивки в обеспечении прочности неодинакова и определяется положением их относительно нейтральной оси эквивалентного бруса. Наиболее нагружены пояса палубы и днищевой обшивки, верхний пояс обшивки борта, называемый *поясом*, и закругленный скуловой пояс в месте перехода бортов в днище (рис. 77).

Толщины обшивки и настила палубы назначают из условия обеспечения общей прочности корпуса. Однако Правилами Речного Регистра РСФСР установлены минимально допустимые толщины отдельных поясов из условия обеспечения судну необходимой долговечности с учетом коррозии и механического износа. Минимальную толщину наружной обшивки, настила палубы, шпрунтрека и палубного стрингера назначают в зависимости от длины, класса и типа судна по специальной таблице. При этом толщину наружной обшивки в носовой

Рис. 76. Отсеки корпуса судна с поперечной и продольной системами набора:

1 — шпунтрек; 2, 17 — палубный и бортовой стрингеры; 3 — пиллерс; 4 — кницы; 5 — рамный бимс; 6 — книгстык бимсы; 7 — кница; 8, 9, 10 — холостой флорный и рамный шпангоуты; 11 — туннель; 12, 14, 24 — средний, бортовой и днищевой кильсоны; 13 — усиленный килевой пояс; 15 — флор рамного днищевого шпангоута; 16 — скуловой пояс обшивки; 18, 23 — рамные шпангоуты борта и днища; 19, 21 — соответственно палубные и бортовые продольные ребра жесткости; 20 — обшивка палубы; 22 — днищевые холостые продольные балки

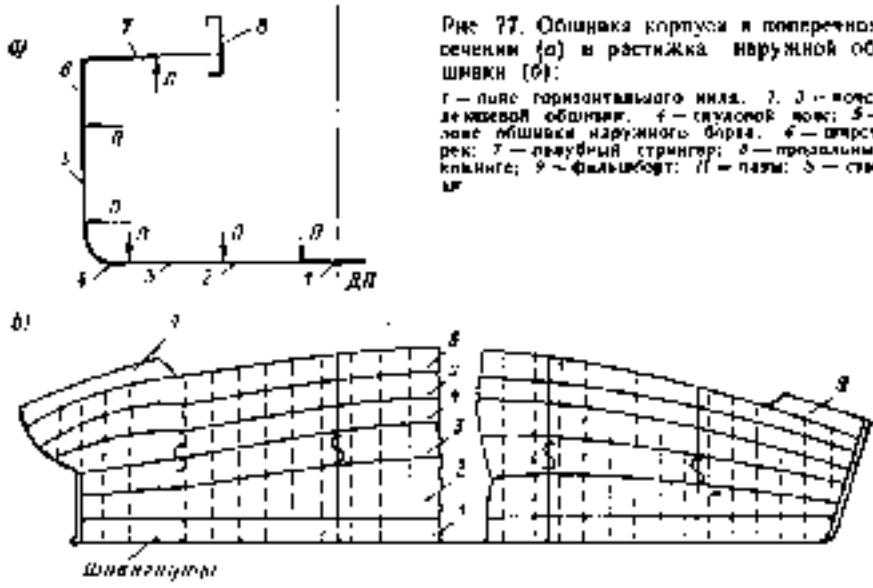


Рис. 77. Обшивка корпуса в поперечном сечении (а) и в растяжку наружной обшивки (б):

1 — пояс горизонтального киля; 2, 3 — пояса скуловой обшивки; 4 — скуловой пояс; 5 — пояс обшивки наружного борта; 6 — ширстрек; 7 — палубный стрингер; 8 — продольный кильсон; 9 — фальшборт; 10 — пазы; 11 — стык

оконечностях принимают не менее 1,25 толщины наружной обшивки в средней части судна, а толщину наружной обшивки в районе ахтерпика — не менее толщины наружной обшивки в средней части корпуса. Ширина ширстрека должна быть не менее $0.2H$ (где H — высота борта судна).

Основным поясом палубного настила является палубный стрингер, идущий вдоль бортов от носа до кормы. Ширину палубного стрингера у палубных судов принимают не менее 600 мм, а толщину — не менее толщины ширстрека. Остальные пояса палубного настила делают несколько тоньше. Для сохранения прочности в палубном стрингере запрещается делать вырезы диаметром более $d = 20t_{пс}$ (где $t_{пс}$ — толщина палубного стрингера) без надлежащего подкрепления.

Суда, плавающие в битом льду, вдоль всего корпуса имеют ледовый пояс, толщину обшивки которого в носовой части судна принимают равной $1{,}25t$, в районе ахтерпика — $1{,}2t$, на остальной длине судна — $1{,}15t$ (где t — толщина обшивки борта в соответствующем районе для судна без ледовых подкреплений).

Верхняя граница ледового пояса проходит на 0,5 м выше грузовой ватерлинии, а нижняя — на 0,5 м ниже ватерлинии порожнем, с учетом возможности дифферента судна.

Палубный настил судов-площадок и настил второго дна сухогрузных судов для защиты от повреждений при перегрузочных операциях утолщают на 3 мм и более, т. е. $t_{пл} \geqslant t_{о} + 3$ мм (где $t_{п}$ — толщина наружной обшивки днища).

38. КОНСТРУКЦИИ КОРПУСОВ

Современные сухогрузные теплоходы и танкеры строят с двойным дном и двойными бортами. Это увеличивает общую прочность корпуса, повышает живучесть судна и создает удобства для выполнения перегрузочных операций.

У речных судов с двойным дном (рис. 78) высоту междудонного пространства принимают 800 мм при длине корпуса до 120 м и не менее 900 мм при большей длине корпуса. Набор второго дна изготовляют по той же системе, которая принята для днища и палубы корпуса данного судна.

Пространство между двойным дном и бортами разделено на отсеки непроницаемыми сплошными флорами шпангоутов. Для доступа в отсеки междудонного пространства и вентиляции их во время работ в настиле второго дна вблизи водонепроницаемых флоров делают лазы. Боковые кильсоны, проницаемые флоры и шпангоуты также имеют овальные вырезы размером 400×600 мм, позволяющие перемещаться по отсеку при осмотре. Однако высота этих вырезов не должна превышать половины высоты листа флоров и кильсонов. В среднем кильсоне во избежание нарушения прочности обычно вырезы не делают.

Толщину листов второго дна самоходных и несамоходных судов, на которых выгрузку осуществляют грейферами, принимают равной 8—10 мм.

Наружная обшивка служит для обеспечения непроницаемости и прочности корпуса. Она воспринимает гидростатическое давление во-

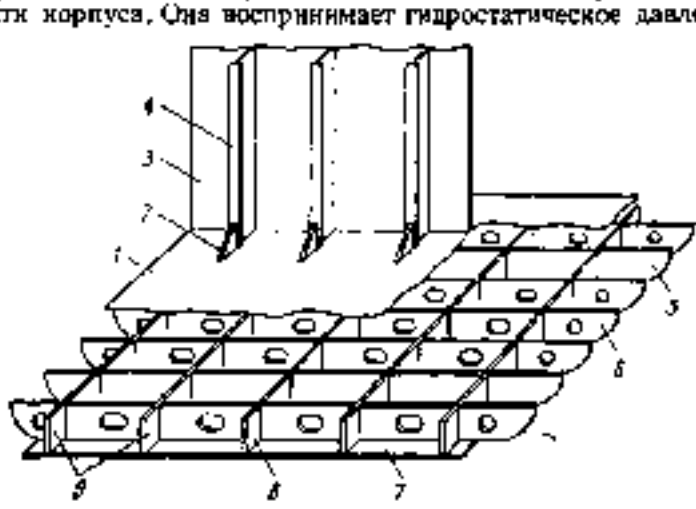


Рис. 78. Днищевое перекрытие с двойным дном:

1 — настил второго дна; *2* — киница; *3* — поперечная переборка; *4* — стойка поперечной переборки (конгфорс); *5, 6* — флоры непроницаемый и проницаемый; *7* — днищевая обшивка; *8* — средний кильсон; *9* — боковые кильсоны

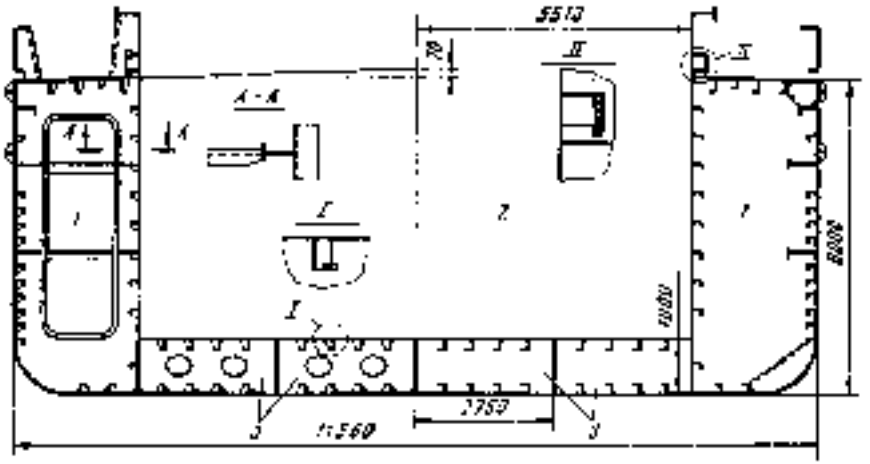


Рис. 79. Модель-шпангоут сухогрузного теплохода смешанного реки - море плавания (пр. 791).

1 — междубортное пространство; 2 — трюмный трюм; 3 — междудонное пространство

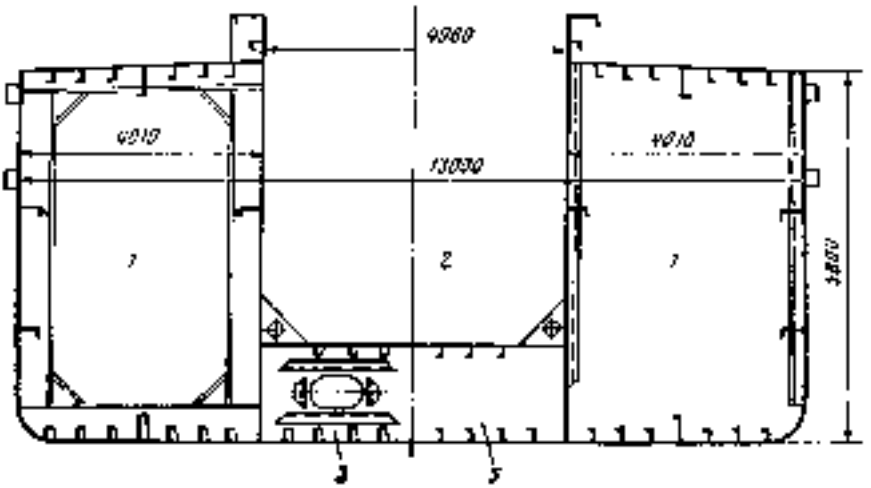


Рис. 80. Модель-шпангоут нефтерудовоза (пр. 1670):

1 — танки для перевозки нефтепродуктов; 2 — отсек для перевозки руды; 3 — балластные цистерны

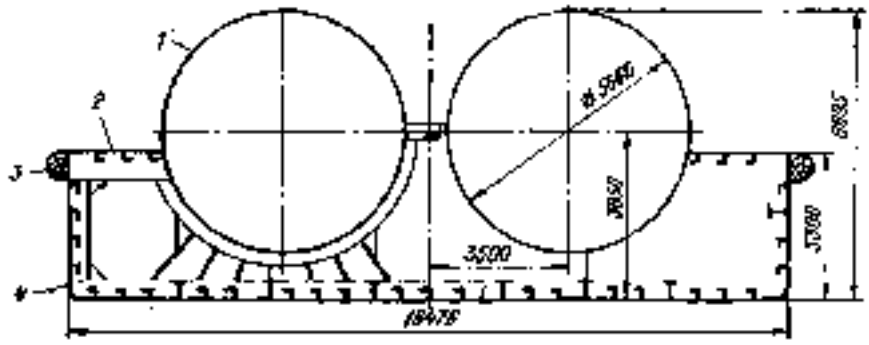


Рис. 81. Модель-шпангоут наливной баржи с двумя цилиндрическими обечайками (пр. 16808):
1 — цилиндрическая обечайка; 2 — палуба; 3 — продольный брус; 4 — днище

ды, удары волн, сжатие льдами при плавании в ледовых условиях. Толщины стальных листов наружной обшивки при проектировании определяют Правилами Речного Регистра РСФСР в зависимости от класса и длины судна.

Корпус сухогрузного теплохода смешанного реки — море плавания (рис. 79) имеет смешанную систему набора: палуба, днище, второе дно, наружные и внутренние борта - продольную, оконечности корпуса и машинное отделение — поперечную систему набора.

Для танкеров внутреннего плавания применяют конструкции корпуса с двойным дном, двойными бортами и продольной переборкой в ДП. Второе дно при этом имеет наклон к ДП и продольный желоб, что позволяет почти полностью удалять груз при разгрузке танкера. Междудонное пространство используют для балластировки при ходе порожнем.

На внутренних водных путях для перевозки в одном направлении нефтепродуктов, а в обратном — руды или других сухих грузов используют комбинированные высокопроизводительные суда — нефтерудовозы (рис. 80). Каждый бортовой отсек разделен поперечными переборками на четыре танка, в которых перевозят нефтепродукты. Средний отсек для перевозки руды переборок не имеет и закрывается механизированными люковыми крышками. Под средним отсеком расположено междудонное пространство высотой 1,5 м, которое используют при приеме балласта.

Большое внимание уделяется защите водного бассейна от загрязнения. Особенно это относится к нефтеналивным судам. Наливная баржа с двумя цилиндрическими вставками (рис. 81) имеет продольную систему набора корпуса. Цилиндрические вставки усилены набором только с наружной стороны, что обеспечивает упрощенную зачистку

танков. Каждая вставка двумя поперечными переборками разделена на три танка. Размещение нефтепродуктов в продольных цилиндрических вставках исключает утечку груза при повреждении корпуса

59. КОНСТРУКЦИИ ОКОНЕЧНОСТЕЙ И МАШИННОГО ОТДЕЛЕНИЯ

При разработке конструкции корпуса в районе оконечностей и машинного отделения необходимо учитывать характерные особенности воздействующих на них нагрузок. Носовая оконечность воспринимает значительные ударные нагрузки на волнении, при ходе в ледовых условиях и посадке судна на мель. На кормовую оконечность корпуса действуют пульсирующие усилия, создаваемые гребными винтами. В районе машинного отделения элементы корпуса испытывают воздействие вибрации от работающих главных двигателей.

Оконечностями называют носовые и кормовые участки корпуса, которые отстоят от носового и кормового перпендикуляров на расстоянии, равном $0{,}15L$ (где L — длина судна).

Носовую и кормовую оконечности для обеспечения местной прочности, а также по технологическим соображениям набирают по поперечной системе набора независимо от системы набора средней части корпуса. При этом в форпике и ахтерпике шпацию уменьшают на 50—100 мм. Днищевые участки шпангоутов выполняют только из рамного профиля, а бортовой набор усиливают увеличением числа рамных шпангоутов и изменением их профиля. Толщина стенки флоров носовой оконечности должна быть на 1 мм больше, чем в средней части.

Основные продольные балки по днищу — кильсоны — и по палубе — карлингсы — должны проходить как можно дальше в носовую и кормовую оконечности. Средние кильсон и карлингс доводят до штевней, а боковые — до поперечных переборок форпика и ахтерпика.

Бортовые стрингеры доходят до форштевня, где их соединяют горизонтальной кницей, называемой *брештуком*. Обводы носовой части выбирают из условия уменьшения сопротивления воды движению судна, обеспечения мореходных и маневренных его качеств. На речных судах распространен наклонный форштевень. Это позволяет увеличить площадь палубы и препятствует заливанию ее водой. Нос ледокола имеет сильно наклоненный вперед форштевень, обеспечивая «вползание» корпуса на лед.

Конструкция кормовой оконечности определяется числом и типом рулей и движителей. Для пропуска гребных валов через обшивку корпуса служат дейдвудные устройства (рис. 82).

Оконечности толкаемых судов подкрепляют таким образом, чтобы усилия от упоров равномерно распределялись на продольные связи корпуса и борта. В плоскости упоров устанавливают продольные переборки или раскосные фермы, прочно связанные с корпусом судна и

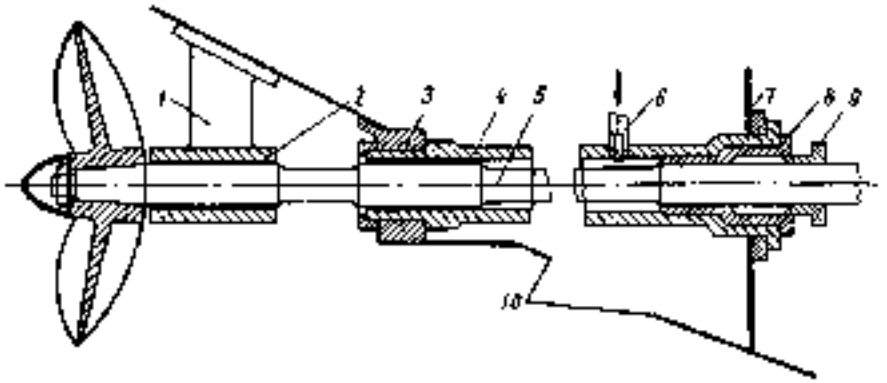


Рис. 82. Дейдвудная труба:

1 — кронштейн гребного вала; 2 — резиновые вкладыши; 3 — мортира; 4 — дейдвудная труба; 5 — гребной вал; 6 — труба подачи воды для смазывания; 7 — поперечная переборка; 8 — сальниковое устройство; 9 — нажимная втулка сальника; 10 — обшивка корпуса

доведенные до непроницаемой переборки форпика или ахтерпика. В районе упоров ставят замкнутые шпангоутные рамы.

Корпус судна в машинном отделении имеет поперечную систему набора. При этом на каждой шпации устанавливают флорные или рамные шпангоуты, у которых толщину стенок сплошных флор увеличивают на 1 мм, а площади обратных лясов — в полтора раза по сравнению с соответствующими шпангоутами трюмов. Расстояние между рамными шпангоутами не должно превышать трех шпаций. Крайние шпангоуты, ограничивающие фундамент, должны быть обязательно рам

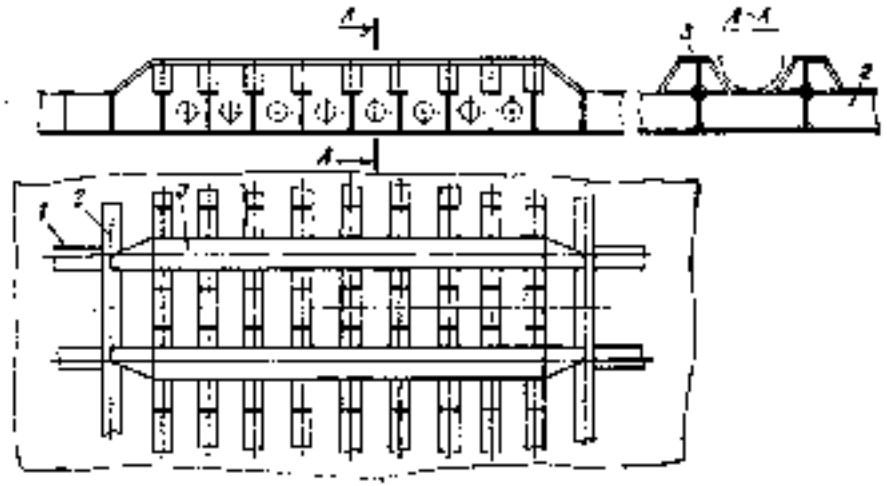


Рис. 83. Фундамент главного двигателя:

1 — кильсон; 2 — шпангоут; 3 — верхняя полоса фундамента

пыки. Флоры шпангоутов в районе фундаментов делают разрезными и связывают с балками фундамента кницами. У рамных шпангоутов, ограничивающих фундаменты, ставят усиленные пиллерсы.

Фундамент под главный двигатель изготовляют из листовой стали (рис. 83). Он имеет обычно две продольные балки, которые совмещаются с кильсонами. В случае невозможности совмещения существующих кильсонов с продольными балками фундамента в плоскости балок устанавливают дополнительные кильсоны, которые доводят до поперечных переборок машинного отделения и прочно связывают с ними. С обратной стороны переборок ставят рамные стойки, жестко скрепленные с кильсонами и карлингсами. Верхние горизонтальные полосы фундамента делают толщиной 10—20 мм и шириной не менее ширины опорной поверхности рамы двигателя.

Вспомогательные двигатели, насосы и другие механизмы в машинном отделении устанавливают на фундаменты, представляющие собой привариваемые к обшивке днища и скрепленные с флорами при помощи книц двутавровые или тавровые балки.

60. КОНСТРУКЦИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ И ПРОДОЛЬНЫХ ПЕРЕБОРОК

С целью обеспечения непотопляемости судна и образования судовых помещений корпус делят на отсеки водонепроницаемыми переборками. Поперечные и продольные переборки придают корпусу также общую и местную прочность. Количество их и расположение определяют в зависимости от класса, типа и назначения судна.

По форме водонепроницаемые переборки речных судов изготовляют двух видов: плоские и гофрированные.

Полотно *плоских переборок* (рис. 84, *а*) сваривают из листовой стали толщиной 3—5 мм. При этом длинные стороны листа располагают горизонтально. Листы нижнего пояса переборки делают на 0,5—1 мм толще, так как эта зона подвержена повышенным нагрузкам и усиленной коррозии. Для получения необходимой жесткости к полотну поперечных переборок приваривают вертикальные стойки углового или колосникобульбового профиля. В плоскости кильсонов и карлингсов устанавливают рамные стойки — *контрфорсы*. Все поперечные непроницаемые переборки должны идти от днища до палубы надводного борта. Листы переборок приваривают к обшивке корпуса сплошным двусторонним швом, что обеспечивает водонепроницаемость.

На поперечных переборках ледоколов устанавливают горизонтальные балки — *шельфы*, которые воспринимают давление льда на борта.

В последние годы в судостроении широко применяют переборки из *гофрированного* стального листа (рис. 84, *б*). Они менее трудоемки в изготовлении и при равной прочности имеют массу на 15—20% меньше плоских. У поперечных переборок гофры располагают вертикально, а

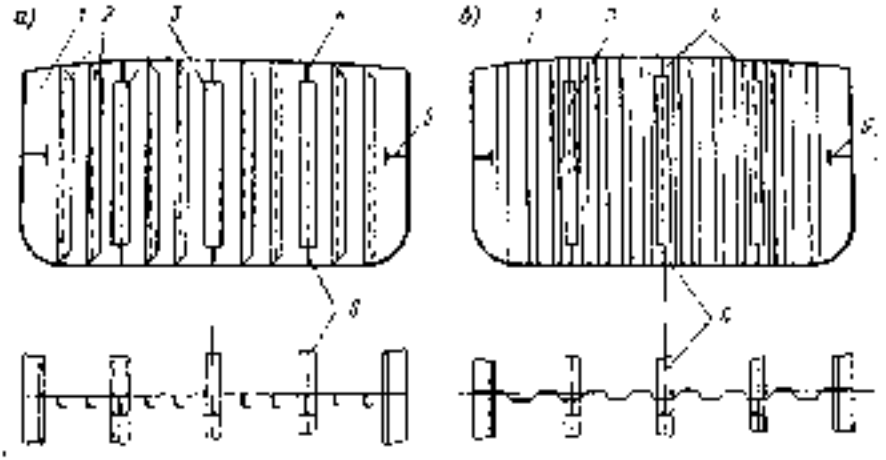


Рис. 64. Плоская и гофрированная поперечные переборки:
1 — обшивка переборки; 2 — холостая стойка; 3 — кницы; 4 — кницевые; 5 — бортовой стрингер; 6 — киль-сон

у продольных — как вертикально, так и горизонтально. Продольные переборки повышают сопротивление общему изгибу, и при расчетах их включают в эквивалентный брус.

На всех судах независимо от типа и класса должны быть установлены форпиковая и ахтерпиковая поперечные непроницаемые переборки. Форпиковую переборку располагают от носового перпендикуляра на расстоянии не менее половины ширины корпуса. Устройство дверей и лазов в переборках форпика и ахтерпика не допускается. Если в других поперечных непроницаемых переборках устанавливают двери, то они должны быть непроницаемыми и закрываться с обеих сторон.

Самоходные суда имеют непроницаемые поперечные переборки, ограничивающие машинное отделение.

Число и расположение непроницаемых переборок обосновывается соответствующими расчетами непотопляемости. На сухогрузных судах общее минимальное число поперечных переборок (в том числе форпиковой и ахтерпиковой) устанавливают 3—6 при длине судна соответственно 20—60, 61—80, 81—100, 101 м и более. На речных танкерах устанавливают одну продольную переборку при длине судна 80 м и менее, две — при большей длине.

61. КОНСТРУКЦИЯ НАДСТРОЕК. ОБОРУДОВАНИЕ СУДОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Судовые надстройки по виду материала бывают металлические, деревянные и композитные. Обшивку надстроек изготовляют из листовой стали толщиной 3—4 мм, а также из стальных гофрированных

листов толщиной 2—3 мм с горизонтальным или вертикальным расположением гофр. Наружные и внутренние стенки надстройки имеют поперечную систему набора, состоящего из рамных и холостых стоек. Наружные стенки должны быть водонепроницаемыми. Палубы надстроек выполняют из гладких или гофрированных листов. Бимсы набора делают из полособульбы, как и стойки стенок.

На крупных пассажирских судах палубы надстроек выполняют по продольной системе набора. Продольный подпалубный набор состоит из холостых продольных балок, расположенных на расстоянии 550—600 мм друг от друга. В плоскости внутренних продольных стенок обычно устанавливают карлингсы, подкрепленные пиллерсами.

На небольших грузовых теплоходах и буксирах-толкачах стенки надстроек изготовляют из стальных гофрированных листов с вертикальными гофрами.

Палубу и стенки металлических надстроек изнутри обстраивают обшивкой из фанеры или пластика. Между наружной металлической и внутренней обшивками прокладывают тепло- и звукоизоляционные материалы. В качестве изоляционных применяют синтетические материалы (пенопласт, капроновую вату), которые приклеивают к обшивке специальными мастиками.

Металлические палубы надстроек застилают деревянным настилом, на который укладывают линолеум. В последнее время широко применяют для покрытия палуб специальные мастики.

Судовые помещения образуются путем разделения надстроек и отсеков корпуса выгородками на отдельные замкнутые пространства. Их делят на жилые, общего пользования и служебные.

На пассажирских судах помещения экипажа располагаются отдельно от помещений пассажиров. Оборудование и удобства жилых *помещений* зависят от служебного положения члена экипажа, а для пассажиров — от категории каюты. При размещении кают экипажа учитывают место несения вахты. Путь от каюты до рабочего места должен быть кратчайшим.

К *помещениям общего пользования* относят кают-компании и столовые для экипажа.

На пассажирских судах, кроме упомянутых помещений, имеются рестораны, бары, буфеты, музыкальные салоны, кинозалы, на открытых палубах — солярии и танцплощадки. В данную группу помещений входят также прачечные, бани, душевые, сушильные и гладильные.

Отделка судовых помещений должна соответствовать их назначению. Отделка ресторанов, салонов, кают для пассажиров и экипажа должна быть красивой, удобной, гигиеничной и безопасной в пожарном отношении. Этим требованиям в наибольшей степени отвечают различные синтетические материалы: текстовинит (искусственная кожа), линкрист, паонил, другие пластики. Отделочные материалы должны поддаваться влажной уборке. На многопалубных пассажирс-

ких судах отделку коридоров на разных палубах выполняют разными цветами для облегчения ориентирования пассажиров на судне.

В салонах и пассажирских каютах устанавливают легкую прочную мягкую мебель. Все помещения должны быть хорошо освещены.

В *служебных помещениях* экипаж несет вахту, выполняет различные работы, в них перевозится груз, хранятся судовые запасы.

Машинное отделение служит для размещения главных двигателей, дизель-генераторов, механизмов и агрегатов, необходимых для нормальной эксплуатации судна. На речных судах машинное отделение находится, как правило, в кормовой части судна. При этом улучшаются условия размещения грузовых трюмов, укорачивается паропровод.

Цистерны для хранения топлива и питьевой воды располагаются у бортов судна или поперечных переборок. Балластные отсеки находятся в основном в междудонном пространстве.

42. ГРУЗОВЫЕ ЛЮКИ И ИХ ЗАКРЫТИЯ. ДЕЛЬНЫЕ ВЕЩИ

Грузовые люки делают в палубе для обеспечения загрузки трюмов, а также доступа в помещения, расположенные в корпусе. Все вырезы в палубе подкрепляют по периметру вертикальными листами — комингсами. Листы комингсов возвышаются над палубой и проглускаются внутрь трюмов до нижней кромки рамных бимсов и карлингсов. Высота комингсов над палубой в зависимости от длины корпуса и класса судна регламентируется Правилами Речного Регистра РСФСР. На современных грузовых теплоходах с широкими грузовыми люками, расположенными вдоль всего судна, комингсы имеют большое значение в обеспечении общей прочности. Высота их над палубой достигает 1 м, что наряду с компенсацией прочности палубы увеличивает полезный объем трюмов, предохраняет последние от заливания и обеспечивает безопасность во время перегрузочных работ.

У речных судов грузовые люки закрывают специальными водонепроницаемыми *люковыми* крышками, которые с помощью электрических лебедок перемещаются вдоль комингсов по рельсовым путям на роликах; на грузовых теплоходах последних проектов применяют гидравлический привод. Крышки имеют различную высоту и ширину, что позволяет сдвигать их одни под другие. Благодаря этому возможно открыть трюмы на половину их площади.

Люковые закрытия судов смешанного реки – море плавания должны быть водонепроницаемыми и обеспечивать достаточную прочность при ударе волн. К водонепроницаемым относят люковые закрытия системы Мак-Грегора, а также устройства с шарнирно-сочлененными люковыми крышками.

В конструкции люкового закрытия Мак-Грегора (рис. 85, *а*) каждая крышка катится на четырех роликах по рельсам под действием силы натяжения каната, выбираемого лебедкой. Центрирующие ролик-

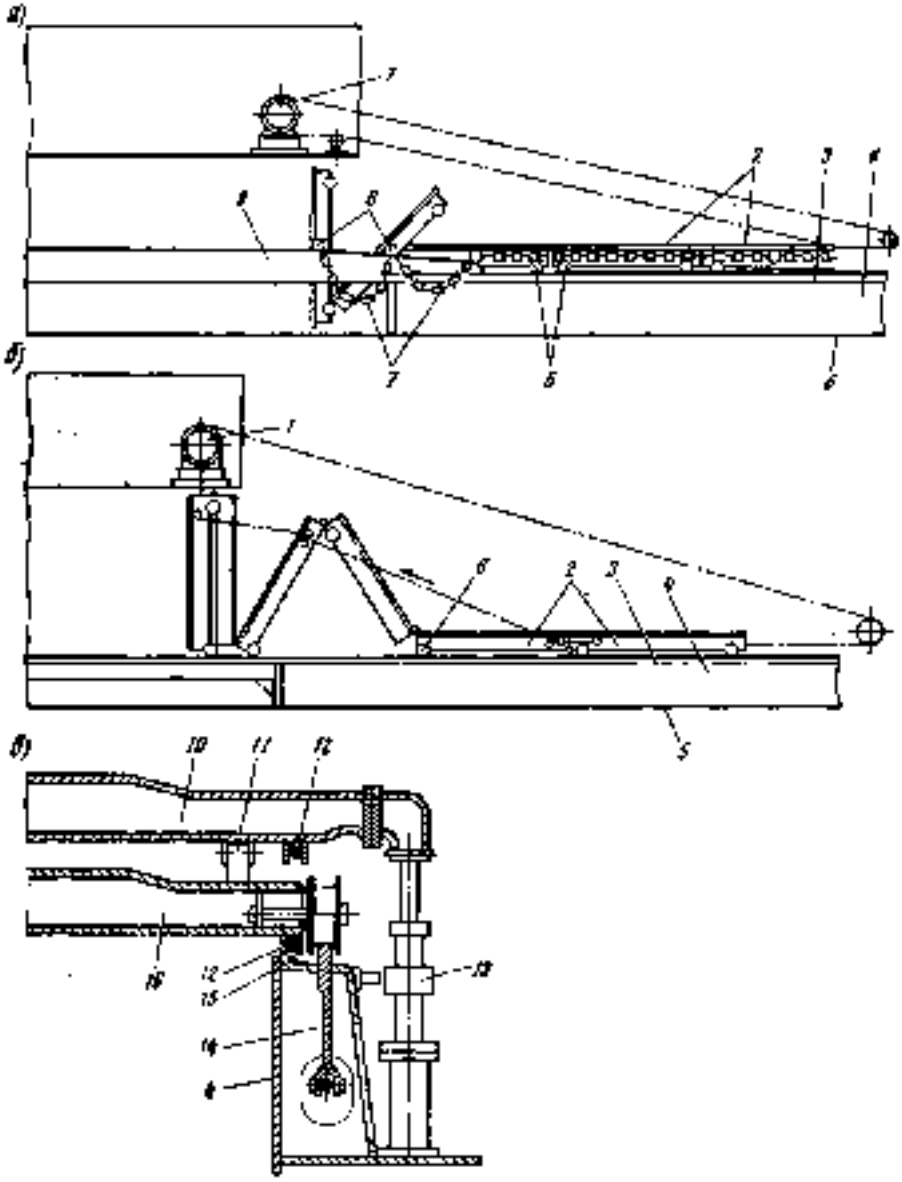


Рис. 85. Люковые закрытия:

1 — лебедка для передвижения крышек; 2 — люковые крышки; 3 — горизонтальный угольник жесткости; 4, 5 — палубная обшивка; 6 — ролики для передвижения комингса; 7 — цепи для соединения крышек; 8 — центрирующий рычаг; 9 — направляющая балка; 10 — люковая крышка без рычагов; 11 — опорный брус; 12 — резиновое уплотнение; 13 — домкрат; 14 — рычаги подъема подвижных крышек; 15 — подпора уплотнения; 16 — подвижная крышка на роликах

ки крышек, нажатываясь на срез направляющей балки, приподнимают крышки, которые сходят поочередно с рельсов и занимают вертикальное положение. После установки всех крышек в вертикальное положение их отводят по направляющим балкам за пределы люка.

В устройствах с шарнирно-сочлененными люковыми закрытиями (рис. 85, *б*) вертикальное положение крышки занимают под действием системы специальных направляющих роликов и пропущенного через них каната, который выбирается лебедкой.

На грузовых теплоходах типа «Волго-Дон» последних серий применено устройство с ларно-передвижными люковыми крышками (рис. 85, *в*). Две крышки передвигаются вдоль комингса по рельсовым путям на роликах, а две другие роликов не имеют. Последние предварительно поднимают домкратами, подводят под них подвижные крышки и вместе откатывают. Водонепроницаемость люковых закрытий обеспечивают резиновые уплотнения, которые устанавливают на ребра крышек по их периметру. Для крепления по-походному крышки снабжены специальными стопорами.

Дельными вещами называют металлические и пластмассовые изделия, составляющие часть оборудования корпуса и предназначенные для создания нормальных условий обитаемости экипажа и пассажиров, а также обеспечения их безопасности. К ним относят металлические двери, крышки светового и сходного люков, горловины, бортовые и палубные иллюминаторы, металлические трапы.

Судовые двери по назначению классифицируют на водогазонепроницаемые, водонепроницаемые и брызгонепроницаемые.

Водогазонепроницаемые двери устанавливают на водонепроницаемых переборках и стенках надстроек. Они состоят из стального полотна толщиной 3—5 мм с гофрами. По периметру полотна в специальном гнезде укладывают прокладку из бензомаслостойкой резины. Двери закрывают клиновыми задрайками на тягах.

Водонепроницаемые двери отличаются от водогазонепроницаемых меньшим числом задраек.

Брызгонепроницаемые двери устанавливают в прачечных, банях и даже в надстройках, если не предъявляются требования по водонепроницаемости. Они состоят из гофрированного стального листа толщиной 2—4 мм. Прокладкой служит полоса из листовой резины, приклеенная к краю полотна. Двери закрываются замками и эвшелкой.

Световые люки устанавливают над помещениями, в которых необходимы естественное освещение и вентиляция. В крышках светового люка монтируют глухие круглые иллюминаторы с прутковым ограждением и стеклом толщиной 20—25 мм.

Сходные люки (рис. 86) служат для доступа людей в подпалубные помещения. Люк состоит из комингса, привариваемого к палубе, крышки с резиновой прокладкой и устройства задраивания (задрайки-барашка с ручкой). Высота комингса зависит от места установки

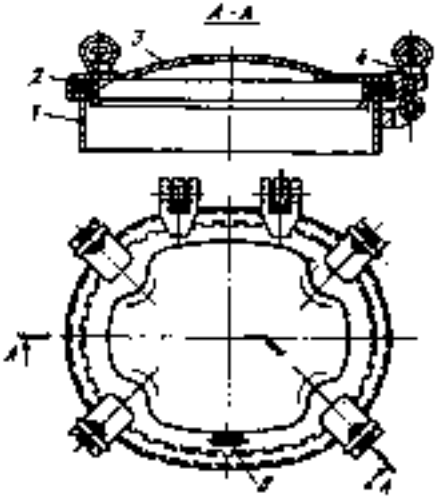


Рис. 86. Водогазонепроницаемая крышка сходного люка.

1 — комингс; *2* — резиновая прокладка; *3* — крышка; *4* — задрайка-барашек; *5* — ручка

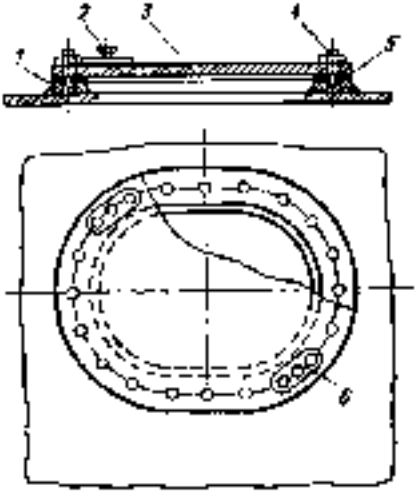


Рис. 87. Горловина судовая стальная:

1 — фланец; *2* — отливной бим; *3* — крышка; *4* — шпилька; *5* — прокладка; *6* — накладка

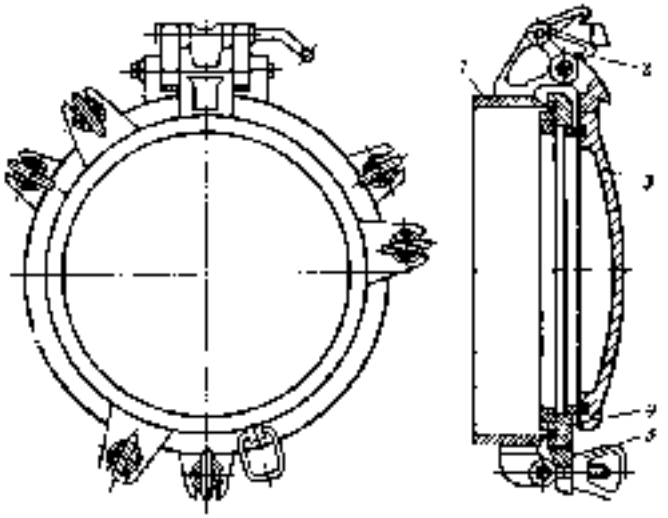


Рис. 88. Иллюминатор круглый створчатый:

1 — корпус; *2* — защелка; *3* — штормовая крышка; *4* — рама со стеклом; *5* — задрайка барашек

люка к району плавания судна. По форме сходные люки изготовляют круглыми, квадратными и прямоугольными.

Горловины (рис. 87) устанавливают для доступа в междубортное и междудонное пространство, а также в цистерны для хранения жидкостей. Горловина в плане имеет овальную форму размерами от 320×× 450 до 450×600 мм. Комингс горловины, в котором имеются отверстия под шпильки, приваривают к палубе. На шпильках надевают крышку горловины. Между крышкой и приварышем устанавливают прокладку из резины, картона или другого материала в зависимости от содержимого отсека.

Иллюминаторы служат для естественного освещения и вентиляции судовых помещений. Их подразделяют: по форме — на круглые с диаметром в свету 200—400 мм и прямоугольные размером 600×× 400 мм; по конструкции — на тяжелые, нормальные, створчатые (рис. 88) и глухие; по материалу — на стальные и пластмассовые. Место установки, конструкция и размеры иллюминаторов согласовывают с Речным Регистром РСФСР.

63. КОНСТРУКЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ УЗЛОВ СУДНА

Фундамент — это прочная жесткая опорная конструкция, служащая для установки и крепления на ней различных судовых механизмов, электрооборудования, приборов и агрегатов. Он воспринимает статические и динамические нагрузки, а также инерционные силы, возникающие при качке. Фундамент состоит из продольных и поперечных балок, сваренных между собой и подкрепленных кницами. Для создания жесткости фундаментам крупных агрегатов, при работе которых возникает вибрация, их продольные балки доводят до поперечных переборок. В любом случае фундаменты устанавливают так, чтобы усилия передавались на набор, а не на обшивку. Для снижения вибрации и предотвращения появления трещин в сварных швах фундаментов и корпуса механизмы устанавливают на амортизаторах (рис. 89).

Привальный брус (рис. 90) служит для предохранения борта судна от повреждений во время швартовных операций. Привальные брусья изготовляют стальными (вид *а*), деревянными (вид *б*) со стальной защитной полосой или без защитной полосы и резиновыми (вид *в*).

Форштевень — сварная, кованая или литая балка носовой оконечности корпуса судна, прочно связанная с набором и обшивкой. Продольные балки набора, подходящие к форштевню, соединяются с *брештуками*. Толщина брештуков не должна быть меньше толщины прилегающих листов наружной обшивки.

На речных судах форштевни могут быть изготовлены из полосовой или прутковой стали. Размеры поперечного сечения форштевня из полосовой стали ниже грузовой ватерлинии должны быть не менее:

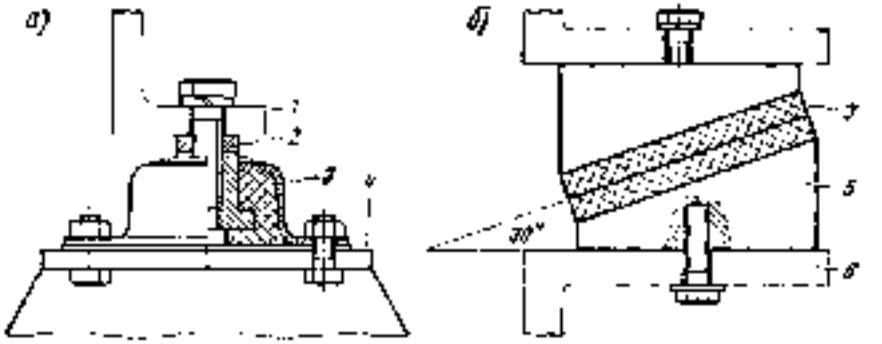


Рис. 89. Крепление механизмов и агрегатов на амортизаторах АКСС (*а*) и пластинчатых пайолных амортизаторах (*б*):

1 — рама механизма; 2 — выравнивающая шайба; 3 — упругие резиновые элементы; 4 — фундамент; 5 — выравнивающая прокладка; 6 — лафетный лист фундамента

$l = 12 + 0{,}4L$; $a = 64 - 1{,}5l$, (где l, a — толщина и ширина полосы, мм).

Диаметр поперечного сечения форштевня из круглой стали ниже грузовой ватерлинии должен быть не менее $d = 46 + 0{,}96L$.

Площадь поперечного сечения форштевня из угловой равнобокой стали ниже грузовой ватерлинии должна быть не менее $F = 11 + 0{,}22L$.

Выше грузовой ватерлинии площадь поперечного сечения форштевня можно постепенно уменьшать и принимать у верхнего конца равной 70%, определенной по формулам.

Ахтерштевень является основой кормовой оконечности, соединяет набор, а также листы наружной обшивки, создает опору перу руля и кормовому концу гребного вала у одновальных судов. Его форма за-

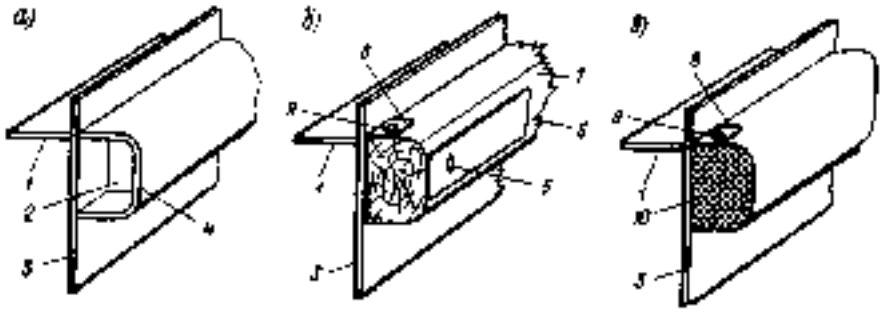


Рис. 90. Привальные брусья:

1 — палубный стрингер; 2 — бракета; 3 — шпигтрек; 4 — металлическая коробка; 5 — полоса крепления планки; 6 — стальная планка; 7, 10 — деревянный и резиновый брусья; 8 — лапп; 9 — кремневый болт с гайкой

висит от формы кормы, числа гребных валов, типа руля и назначения судна. Их изготовляют цельными из брусковой стали или сварными из угловой равнобокой стали.

Дымовая труба представляет собой стальной кожух, подкрепленный ребрами жесткости, в котором размещаются газоотводные трубы от главных и вспомогательных двигателей. Форму дымовой трубы выбирают исходя из архитектурных особенностей судна, а ее аэродинамические качества должны обеспечивать полный отвод продуктов сгорания в атмосферу.

64. КОНСТРУКЦИИ КОРПУСОВ СУДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ФЛОТА

Многообразие типов судов технического флота по роду выполняемых работ требует различных форм образования корпуса.

Землесосные снаряды обычно имеют прямоугольную форму корпуса с вертикальными бортами и подъемом днища в носовой и кормовой частях саншого типа. В носовой части корпуса сделана прорезь для размещения рамы всасывающей трубы. Длина и ширина прорези зависят от размеров рамы. Земснаряд, у которого рабочее перемещение в процессе дноуглубления осуществляется с помощью свай напорного хода, также и в кормовой части имеет прорезь, вдоль которой перемещается специальная тележка с этой сваей.

Самоходный земснаряд класса М-СП (ЗТС-600) в средней части корпуса имеет трюм для извлекаемого грунта. В днище расположены специальные опускающиеся клапаны для удаления грунта из трюма на месте свалки. Носовая часть корпуса выполнена клинообразной формы, а кормовая — санного типа с туннелями для размещения гребных винтов и рулей.

Многочерпаковый земснаряд имеет корпус прямоугольной формы с прорезью в носовой части для размещения черпаковой рамы. Днище плоское, носовая и кормовая оконечности санного типа.

У штангового земснаряда в кормовой части корпуса сделана прорезь для размещения наклонной сваи, с помощью которой земснаряду обеспечивается подача вперед для разработки следующего пласта извлекаемого грунта.

Корпус земснаряда (рис. 91) со смешанной системой набора вместе с наружной обшивкой образует единую прочную и водонепроницаемую конструкцию, способную выдерживать весовые нагрузки, гидростатическое давление, волновые и другие внешние силы.

При проектировании судов технического флота Правилами Речного Регистра РСФСР предъявляются дополнительные требования. В расчете общей и местной прочности учитываются внешние нагрузки, воспринимаемые корпусом при швартовке шаланд, воздействии рам грунтозаборного устройства, рабочих канатов и т. п. Так, у многочерпаковых снарядов увеличивают прочность корпуса в районе про-

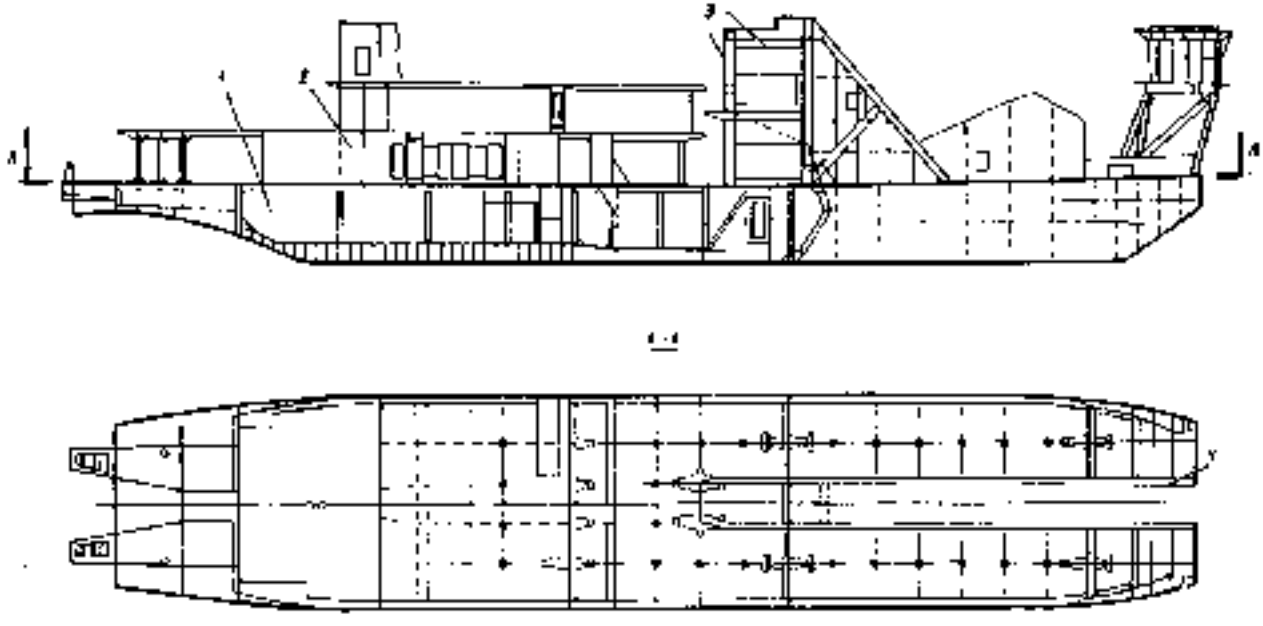


Рис. 91. Корпус земснаряда:
1 — корпус; 2 — вантрофеи; 3 — основание черпаковой рамы; 4 — вырезы в корпусе для черпаковой рамы

резки путем усиления набора и обшивки, делают утолщение палубы и подкрепление набора в местах установки фундаментов оперативных лебедок.

В районе расположения черпаковой и рамоподъемной башен набор основного корпуса усиливают. Для этого под опорами рамоподъемных копров (башен), располагаемых на палубе, устанавливают шпангоуты, рамные стойки и другие опорные конструкции. Листы палубы в местах установки опор черпаковых рам усиливают на 25%. В носовом отделении в местах расположения грунтового насоса предусматривают водонепроницаемые участки флоров и кильсонов для образования сточного колодца.

К судам технического флота не предъявляются требования непотопляемости. Однако их корпуса должны иметь форпиковую и ахтерпиковую водонепроницаемые переборки, а также переборки, ограничивающие машинное отделение.

В зависимости от типа и назначения земснаряды имеют одно- и двухъярусные надстройки в кормовой или средней части корпуса. В надстройках находятся рубки управления, жилые и служебно-бытовые помещения.

Из-за большого насыщения земснарядов (особенно многочерпаковых) энергетическим и рабочим оборудованием возникает высокий уровень шума, поэтому на них экипаж постоянно не проживает и в надстройках размещают только санитарно-бытовые и служебные помещения.

65. КОНСТРУКЦИИ КОРПУСОВ СУДОВ ИЗ ЛЕГКИХ СПЛАВОВ

Из легких сплавов, преимущественно алюминиево-магниевых или дюралевых, строят корпуса и надстройки судов на подводных крыльях, воздушной подушке и глиссирующих пассажирских теплоходов с малой осадкой.

Корпус и надстройка СПК типа «Восход» (рис. 92) составляют единое целое и имеют клепаную конструкцию элементов. Корпус имеет двойное дно и смешанную систему набора. Перекрытия днища, палубы и крыши надстройки выполнены по продольной системе набора, а борта — по поперечной. Продольный набор, сделанный из прокатного зетового профиля, устанавливают на расстоянии 200 мм друг от друга. Поперечный набор состоит из рамных навесных шпангоутов, установленных поверх продольных балок через одну шпацию. Размер шпаций в средней корпуса принимают 550 мм. Обшивку днища и бортов до палубы переборок изготовляют из листов толщиной 3 мм (в районе оков ее толщину увеличивают до 4 мм), обшивку транца и настил палубы — из листов толщиной 2—3 мм.

Для обеспечения непроницаемости соединений корпуса и надстройки применяют прокладки из тиоколовой ленты или тиоколовой уплот-

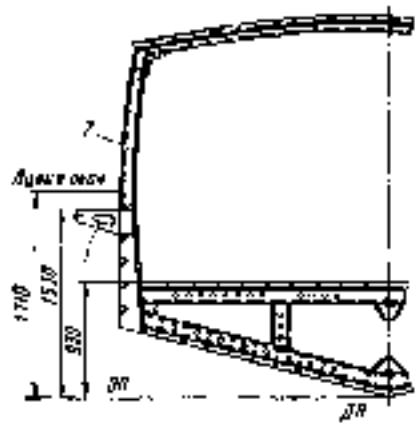


Рис. 92. Модель-шпангоут СПК типа «Восход»:
1 — привальный брус; 2 — оконный проем

жительной замазки. Крыльевое устройство состоит из косового и корчового крыльев, которые крепятся к корпусу тремя стойками. Две из них расположены по бортам на концах крыла и одна — в ДП. Крылья и стойки изготовляют сварными из нержавеющей стали марки Х18Н9Т. В местах соединения с крыльевым устройством в корпусе устанавливают соответствующие подкрепления.

Аналогичную конструкцию имеют СПК типа «Комета», работающие в морских условиях. Корпус судна набирают по продольной системе, элементы корпуса соединяют при помощи аргонодуговой сварки.

На малых реках распространены пассажирские теплоходы типа «Луч». Корпус судна из алюминиево-магниевого сплава имеет смешанную систему набора, а надстройка — поперечную. Продольные ребра жесткости по днищу корпуса устанавливают через 340 мм, а шпангоуты в средней части корпуса — через 960 мм. Обшивку крыши надстройки выполняют из гофрированных листов. Элементы конструкций корпуса и надстройки соединяют сваркой.

Конструкция водоизмещающих судов из алюминиевых сплавов регламентируется Правилами Речного Регистра РСФСР. В эксплуатации находится пассажирский катамаранный теплоход «Анатолий Угловский», корпус и надстройка которого изготовлены сварными из алюминиевых сплавов. Однако ввиду высокой стоимости алюминиевых сплавов строительство из них водоизмещающих судов внутреннего плавания широкого применения пока не находит.

66. КОНСТРУКЦИИ КОРПУСОВ СУДОВ ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Железобетон применяют в судостроении для постройки корпусов плавучих доков, дебаркадеров и понтонов. Судостроительный бетон получают смешиванием сульфатостойкого портландцемента с водой и заполнителями. В качестве крупного заполнителя применяют фракционированный щебень, получаемый дроблением горных твердых пород, или гравий естественного происхождения диаметром не более 20 мм. В качестве мелкого заполнителя судостроительного бетона употребляют кварцевые или полевошпатные пески.

Для придания бетонной конструкции достаточной прочности внутрь ее закладывают арматуру из круглой углеродистой стали диаметром 6—22 мм марок Ст3, Ст3пс и Ст5, а также из низколегированной стали марок 25Г2С и 35ГС. Прочность железобетона и модуль его упругости зависят от коэффициента армирования. Конструкции корпусов судов могут быть изготовлены также из напряженного бетона, который получают путем предварительного растягивания арматуры до заливки бетоном.

Судостроительный железобетон имеет предел прочности на сжатие кубика с гранью 200 мм в 28-дневном возрасте 29—39 МПа, модуль упругости железобетона около 19 600 МПа, плотность 2,63 т/м³.

Системы набора железобетонных судов может быть поперечной, продольной и смешанной. Для дебаркадеров длиной до 35 м допускается применение безнаборной конструкции корпуса с часто расставленными поперечными переборками. Расположение водонепроницаемых переборок в корпусе должно обеспечивать непотопляемость судна.

Корпуса железобетонных судов могут иметь сборно-монолитную или монолитную конструкцию, в зависимости от которой применяют и соответствующие способы их изготовления.

При *сборно-монолитном способе* постройки судна большинство конструкций корпуса изготовляют в специальных металлических формах многократного использования. Корпус судна собирают на стапеле из днищевых и бортовых ребристых плит, а также поперечных и продольных переборок. Железобетонные плиты соединяют между собой путем сварки выпусков арматуры. При этом все связи продольного и поперечного наборов корпуса в местах пересечения непрерывны, так как арматура их пропускается одна через другую, связывая набор в одно целое. Межсекционные соединения заливают бетоном при температуре не ниже 50 °С с маркой бетона, аналогичной марке бетона стыкуемых элементов.

При *монолитном способе* все работы по сооружению корпуса выполняют на стапеле. Сваривают из арматуры каркас корпуса, заключают его в опалубку и заливают бетоном. Опалубку изготовляют из досок или металлических листов. Расстояние между наружным и внутренним листами опалубки определяет размеры конструкций корпуса.

Толщина плит корпуса (40—60 мм) зависит от марки бетона, типа, размеров и конструкции судна. Плиты армируют двумя одинаковыми сетками, которые располагают от наружной поверхности на расстоянии, равном толщине защитного слоя. В районе скулового пояса, а также в местах расположения закладных деталей для закрепления судовых механизмов толщину плит увеличивают на 25%. Закладные детали соединяют с арматурой плит при помощи сварки.

Сборно-монолитный способ постройки железобетонных судов позволяет снизить трудоемкость корпусных работ на 50—60%, сократить

до минимума расход материалов для опалубки и значительно уменьшить продолжительность постройки судов.

Испытание железобетонного корпуса на водонепроницаемость и передвижение судна на стапеле выполняют только после достижения бетоном прочности не менее 70% марочной.

Наружные части корпуса, подвергающиеся при эксплуатации ударам, защищают деревянными привальными брусьями, которые крепят болтами к закладным деталям.

При строительстве железобетонных судов не требуется наличие на верфях дорогостоящего оборудования, достигается значительная экономия судостроительной стали на 1 т грузоподъемности. Эксплуатационные расходы на содержание железобетонных судов в связи с отсутствием необходимости периодического ремонта и окраски корпусов меньше эксплуатационных расходов на содержание аналогичных стальных судов. В то же время железобетонные суда имеют примерно вдвое бо́льшую массу.

67. КОНСТРУКЦИИ КОРПУСОВ СУДОВ ИЗ ПЛАСТМАСС

В последние годы для изготовления корпусов и других конструкций спасательных шлюпок, разъездных катеров и других небольших судов используют пластмассы.

Это стало возможным в результате создания специальной группы пластмассовых материалов — *стеклопластиков*. Для получения стеклопластика в качестве связующего элемента используют полиэфирные и эпоксидные смолы холодного отверждения, а армирующим материалом служат стекложгуты, стеклохолсты и стеклоткани разнообразного плетения. Прочностные свойства стеклопластика зависят главным образом от вида и количества стекловолокнистого армирующего наполнителя.

Отношение модуля упругости к пределу прочности у стеклопластиков в 4—5 раз ниже, чем у стали, поэтому для обеспечения необходимой жесткости корпуса требуется значительно увеличить поперечные размеры связей в пластмассовых конструкциях, что приводит к удорожанию корпуса и ограничению размеров судна.

Корпуса судов из стеклопластика могут иметь одно-, двух- или трехслойную конструкции.

Однослойные конструкции по внешнему виду и конструктивному оформлению близки к конструкциям металлических судов и изготовляются как с набором, так и без набора. Безнаборную однослойную конструкцию (рис. 93, *а*) применяют при строительстве небольших прогулочных лодок. Для увеличения прочности на однослойной обшивке корпуса могут быть образованы продольные гофры. Балки набора могут быть изготовлены как совместно с обшивкой, так и отдельно от нее. Изготовленный отдельно набор соединяют с обшивкой склеива-

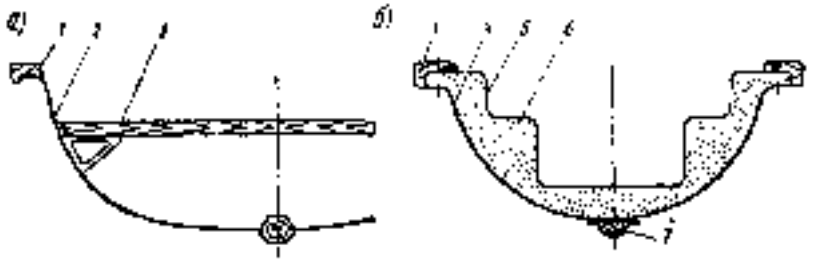


Рис. 93. Конструктивные типы пластмассовых судов:

1 — планширь; 2 — однослойный пластмассовый корпус; 3 — самонабор (балки); 4, 5 — наружная и внутренняя обшивки; 6 — напорнитель; 7 — киль

нием или приформовкой. В последнем случае элементы набора образуются последовательной укладкой пропитанных смолой полос стеклонаполнителя. Балки набора, имеющие фланцы, склеивают с обшивкой специальными клеями на основе эпоксидных смол.

Двухслойная конструкция пластмассового корпуса состоит из двух самостоятельных и изолированно работающих оболочек, скрепленных между собой.

Трехслойная конструкция (рис. 93, *б*) выполнена из двух наружных слоев стеклопластика, воспринимающих основные нагрузки, и легкого пенопластового заполнителя, который обеспечивает заданное расстояние между слоями. Многослойные конструкции могут быть усилены наборами, если это необходимо для прочности.

Балки набора пластмассовых судов выполняют также из стеклопластика. Их конфигурация определяется способом присоединения к обшивке. Такое соединение чаще осуществляется формованием, что надежнее склеивания. При этом на соединяемые элементы накладывают стеклоткань и пропитывают ее тем же составом, что и основную конструкцию.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие деформации испытывает судно на поверхности воды при волнении?
2. Что такое эквивалентный брус?
3. Как классифицируют судостроительные стали?
4. Назовите преимущества и недостатки сварных соединений элементов корпуса судна.
5. Назовите основные системы набора корпуса судна; в чем их различия?
6. Какие продольные связи применяют при продольной системе набора корпуса?
7. Что такое ледовый пояс? Для каких целей его устанавливают?
8. Для чего применяют в конструкции корпуса двойное дно и двойные борта?
9. Какую систему набора имеет корпус в машинном отделении и почему?
10. Назовите типы водонепроницаемых дверей; каково их назначение?
11. Какие особенности имеют конструкции судов технического флота?
12. Где применяют суда с корпусами из железобетона?

Глава XI

ОРГАНИЗАЦИЯ ПОСТРОЙКИ СУДНА

48. ПОНЯТИЕ О ПРОЕКТИРОВАНИИ СУДНА

Проектирование речных судов осуществляют проектные и конструкторские организации в соответствии с Сеткой типов судов. В Сетке предусматриваются рациональные варианты новых типов судов внутреннего плавания, составляется она на основе тщательного изучения и анализа грузо- и пассажиропотоков, условий плавания в бассейнах с учетом внедрения передовых методов перегрузочных работ, достоинств и недостатков серийного флота, находящегося в эксплуатации.

Различают следующие основные этапы разработки проекта:

техническое задание, составляемое проектной организацией совместно с заказчиком на основе Сетки типов судов, определяет основные эксплуатационно-технические и экономические требования, предъявляемые к будущему судну: тип судна, район плавания, грузоподъемность, род перевозимых грузов, скорость движения, тип главных двигателей и движителей, автономность плавания, штат команды, требования к судовым устройствам и системам. Для пассажирских судов дополнительно указывают пассажировместимость и порядок распределения пассажиров по каютам, а для буксиров — силу тяги на гаке при заданной скорости судна. Техническое задание является основой для разработки эскизного проекта;

эскизный проект — наиболее ответственная стадия проектирования, на которой уточняют все основные характеристики и элементы судна. Обычно разрабатывают несколько вариантов эскизного проекта, из которых выбирают один, максимально отвечающий техническому заданию. В последнее время при анализе вариантов широко применяют ЭВМ;

технический проект — окончательная проработка утвержденного варианта эскизного проекта, куда входят записка технического и экономического обоснования принятых решений, ведомости заказа оборудования, необходимые расчеты и чертежи, определяющие конструкцию судна. На стадии разработки технического проекта отрабатывают форму корпуса судна по результатам испытания модели в опытовом бассейне и проводят необходимые согласования с контролирующими организациями — Речным Регистром РСФСР, ВОХР, санитарной инспекцией, органами охраны труда;

рабочая документация, разрабатываемая после утверждения технического проекта. Она состоит из сборочных и деталировочных чертежей для всех деталей судна. Чертежи разрабатывают с указанием всех размеров, необходимых для изготовления деталей на судостроительном заводе. При проектировании широко используют типовые и стандартные изделия, дельные вещи.

Автор проекта разрабатывает также технологические документы, необходимые для строительства судов: документы по проекту технологии и организации постройки судна; схему разбивки корпуса и надстройки судна на секции, блоки (блок-модули); схему установки судна на спусковом устройстве; ведомость проектных норм расхода материалов; технические требования на постройку корпуса судна; чертежи технологической оснастки, приспособлений и специального инструмента; операционную карту технологического процесса сварки; чертежи насыщения корпусных конструкций; карты наиболее сложных технологических процессов.

Основное назначение технологических документов — обеспечение изготовления судна в соответствии с требованиями конструкторской документации, стандартов, норм и правил при наименьших затратах в производстве.

Автор проекта совместно с заводом-изготовителем разрабатывает также технологический график постройки судна, который утверждается директором предприятия — строителя судна.

Проектирующая организация ведет наблюдение за ходом строительства головного судна, вносит необходимые изменения в чертеж при обнаружении замечаний, разрабатывает программы швартовных и ходовых испытаний. По результатам испытания головного судна вносятся изменения в документацию на головную серию. После строительства головной серии документацию корректируют для серийного строительства.

69. ПОДГОТОВКА К СТРОИТЕЛЬСТВУ СУДНА

Строительное предприятие, получив заказ на строительство судна, приступает к подготовке производства. Этот этап в судостроении состоит из следующих видов подготовки производства:

конструкторской — уточнение рабочих чертежей, спецификаций, ведомостей для заказа оборудования и материалов, программ испытаний будущего судна исходя из производственных возможностей судостроительного завода;

материально-технической — размещение заказов на все основные материалы, судовое оборудование и цельные вещи; поставку этих изделий оформляют договорами с заводами-изготовителями на основе фондов, выделяемых планирующими организациями;

планово-технологической — разработка сетевых графиков и технологических процессов постройки судна, определение необходимого оборудования и трудовых ресурсов для его сооружения, проектирование и изготовление оснастки, приспособлений и специальных инструментов.

Для разработки чертежей оснастки необходимо знать форму и размеры деталей корпуса судна, которые определяются теоретическим чер-

тежом. С этой целью на судостроительном заводе теоретический чертеж вычерчивают на плазе.

На некоторых заводах применяют масштабную разбивку корпуса, при которой теоретический чертеж судна изображают на плазе уменьшенным в масштабе 1:5 или 1:10. По полученным масштабным шаблонам выполняют чертежи-шаблоны, которые позволяют использовать наиболее прогрессивный фотопроекционный способ разметки листов металла, а также контрчертежи, по которым работают газорезательные машины с фотоэлектрическим управлением.

Масштабные шаблоны позволяют рассчитать с помощью ЭВМ программы к для высокопроизводительных машин плазменно-дуговой резки с программным управлением типа «Кристалл».

Некоторые судостроительно-судоремонтные заводы используют натурные плазы, на гладком полу которых теоретический чертеж разбивают в натуральный размер. Согласно плазовому чертежу изготовляют шаблоны судового набора и листов обшивки, выполняют разметку и гибку корпусных деталей, сборку секций и корпуса в целом. Шаблоны представляют собой плоские или объемные образцы из фанеры, досок или листов алюминиевого сплава.

При разработке технологических процессов постройки судна обосновывают порядок изготовления его конструкций и определяют перечень потребной оснастки. Оснастка может быть специальной, предназначенной только для строительства судов данного типа, или универсальной. К первому типу оснастки можно отнести кондукторы и постели для сборки блоков и секций корпуса, ко второму — магнитные стенды для двусторонней сварки листов, постели для сборки плоскостных секций, переносные леса, грузозахватные устройства и др.

70. ЭТАПЫ СТРОИТЕЛЬСТВА СУДНА

Сборку и сварку корпуса судна выполняют на специально оборудованной площадке — *стапеле*. В зависимости от положения базовой поверхности различают стапели наклонные и горизонтальные. *Наклонные стапели* применяют обычно при строительстве крупных морских судов. Стапели располагают перпендикулярно к урезу воды, что позволяет осуществлять продольный спуск судна по наклонным спусковым дорожкам. Для постройки речных судов применяют преимущественно *горизонтальные стапели*.

База стапеля образуется с помощью кильблоков, которые можно устанавливать на домкраты для создания горизонтальной поверхности. При постройке судна с позиционной передвижкой опорными устройствами, как правило, служат стапельные тележки. Разбивка стапеля и проверка положения опорных устройств являются важнейшей операцией при строительстве судна, которую следует выполнять особенно тщательно.

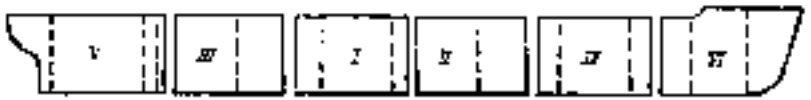


Рис. 94. Схема разбивки и сборки корпуса при блочном способе строительства: I — закладной блок, II—VI — очередность установки блоков на стапеле

По способу сварки корпуса на стапеле технологию постройки судна подразделяют на подетальную, секционную и блочную.

Подетальный способ постройки предусматривает строительство корпуса из отдельных листов обшивки и элементов набора, свариваемых друг с другом на стапеле. В настоящее время этот метод используют лишь при постройке единичных судов.

При *секционном способе* корпус судна собирают на стапеле из плоскостных и объемных секций. Изготовляют секции в корпусно-сварочных цехах с применением специальной и универсальной оснастки. Разбивая корпус на секции, конструкторы учитывают, что каждая секция должна соответствовать размеру листов как по длине, так и по ширине, а также (во избежание деформации при транспортировании) иметь достаточную жесткость.

При *блочном способе* изготовленные заранее плоскостные и объемные секции собирают в блоки, монтируют в них необходимые системы, оборудование и механизмы. После испытания на непроницаемость блоки подают на стапель, стыкуют и сваривают по кольцевым монтажным стыкам.

Формирование корпуса из блоков начинают с установки закладного (базового) блока (рис. 94), в качестве которого используют обычно средний блок. После выравнивания и закрепления базового блока к нему стыкуют последующие. Блочный способ постройки значительно производительнее секционного, так как сборка и насыщение нескольких блоков выполняются одновременно, и блоки поступают на стапель, имея высокую степень готовности. Это позволяет резко сократить продолжительность стапельного периода постройки судна и объем достроечных работ на плаву.

Строительство судна может осуществляться как при неизменном положении корпуса, так и с передвижкой его по мере формирования.

При первом способе, который используют на большинстве судостроительно-судоремонтных заводов речного флота, корпус формируют на постоянном стапеле, начиная от закладной секции и до спуска на воду.

Сборку корпуса с позиционной передвижкой — *поточно-позиционный способ* — применяют при серийной постройке судов небольшого водоизмещения. Поточно-позиционный способ предусматривает разделение объема работы на определенные этапы, каждый из которых последовательно выполняют специализированные бригады. Передвигают

судно на следующую позицию на стапельных тележках через определенные промежутки времени, называемые *шагами потока*. После спуска судна на воду центрируют главные и вспомогательные двигатели, отлаживают судовые механизмы и устройства, электротехническое, радио- и навигационное оборудование, окончательно окрашивают помещения и надстройки.

При строительстве судна на предприятии ведется построечный журнал и журнал регистрации результатов испытаний на непроницаемость и герметичность. Построечный журнал ведется отделом технического контроля (ОТК) предприятия—строителя судна. Результаты испытаний секций и блоков на непроницаемость и герметичность фиксируются в журнале сразу после проведения испытаний за подписью мастера участка, мастера ОТК и представителя инспекции Речного Регистра РСФСР.

На каждую секцию и блок корпуса судна после завершения работ и проверки качества заполняется специальный паспорт. ОТК завода-строителя ведет также журнал регистрации проверки положения корпуса судна. В журнале с момента закладки судна до его спуска на воду фиксируются результаты проверки положения килевой линии, крена и положения корпуса по длине стапеля.

Завершающим этапом постройки являются швартовные и ходовые испытания.

Швартовные испытания проводят у достроечной стенки. Они предусматривают проверку смонтированных на судне главных и вспомогательных двигателей, механизмов и устройств как в отдельности каждого, так и во взаимодействии в условиях, приближенных к эксплуатационным.

Ходовые испытания подразделяют на заводские и сдаточные. В процессе заводских испытаний проверяют судовую автоматику, механизмы и устройства. Сдаточные испытания готового судна проводят в присутствии Государственной приемной комиссии в соответствии с программой приемо-сдаточных испытаний. Прием судна в эксплуатацию оформляют подписанием приемного акта.

31. УСТРОЙСТВА ДЛЯ СПУСКА СУДНА НА ВОДУ

Судно со стапеля может быть спущено при помощи поперечных и продольных слипов, трансбордеров, вертикальных судоподъемников, доков, по специальным наклонным дорожкам под действием собственной силы тяжести, а также кранами.

Поперечные гребенчатые слипы имеют горизонтальную и наклонную части, на которых проложены рельсовые пути для передвижения стапельных и косяковых тележек. Под корпус готового к спуску со стапеля судна подводят самоходные стапельные тележки, на которых его перемещают к наклонной части, где судно пересаживают на косяко-

вые тележки, и под действием сил тяжести, сдерживаемое канатами лебедок, оно плавно входит в воду. Рельсовые пути наклонной части уходят под воду на расстояние, обеспечивающее всплытие судна с кильблоков косяковых тележек. Достаточно большой уклон спусковых путей наклонной части позволяет использовать поперечные гребенчатые слипы при умеренных глубинах и ограниченной ширине речных акваторий.

Продольные слипы, на которых судно спускают на воду перпендикулярно ее урезу, имея малый уклон, требуют для сооружения значительной ширины акватории, поэтому их применяют при строительстве крупных морских судов.

Трансбордер — подвижная платформа с проложенными на ней в продольном направлении судовозными путями. В свою очередь платформа имеет ходовые колеса и перемещается в поперечном направлении по рельсам, уложенным в трансбордерной яме. Глубина трансбордерной ямы должна быть такой, чтобы отметки судовозных путей трансбордера и стапеля совпадали. После того как судно со стапеля будет перемещено на платформу трансбордера и установлено на кильблоки, платформа спускается по наклонным путям до всплытия судна.

Вертикальный судоподъемник прост при наводке и посадке судов на кильблоки, и его можно эксплуатировать при значительных отрицательных температурах воздуха. При спуске на воду судно со стапельными тележками подают и устанавливают на кильблоки платформы подъемника. Платформу, поддерживаемую гидродомкратами или канатами специальных лебедок, опускают вниз до всплытия находящегося на ней судна.

Док — сооружение для подъема судов из воды, осмотра и ремонта их подводной части (докования) либо для достройки судов. Доки могут быть сухими, наливными и плавучими. На судостроительно-судоремонтных предприятиях сухие и наливные доки не применяют.

Сухой док - построечно-спусковое сооружение в виде камеры, днище которого расположено ниже уровня воды прилегающей акватории. Непроницаемая камера в головной части закрывается шлюзом с затвором.

После завершения строительства судна открывают кингстоны и вода заполняет камеру дока. Когда уровень воды в камере дока и прилегающей акватории выравнивается, судно всплывает. Открываются ворота шлюза, и судно выводится из дока.

Наливной док — подъемно-спусковое сооружение, представляющее собой искусственный бассейн типа шлюза, верхняя ступень которого находится выше уровня воды прилегающей акватории. Заполняют бассейн с помощью насосов.

Плавучий док состоит из плоского прямоугольного понтона, на палубе которого находятся кильблоки для размещения судна и одна или

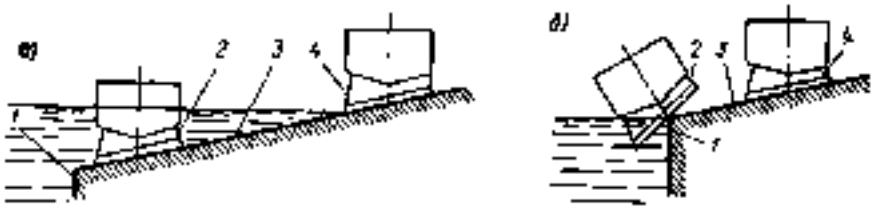


Рис. 95. Поперечный спуск судна по наклонным дорожкам:
1 — порог; 2 — стапель; 3 — салазки; 4 — кильблоки

две продольные башни. При выводе судна док притапливают с таким расчетом, чтобы судно оказалось на плаву.

Спуск судна *по наклонным дорожкам* применяют там, где отсутствуют слип и другие судоподъемные сооружения. Существует три варианта свободного поперечного спуска судов по наклонной плоскости под действием сил тяжести: спуск до полного всплытия, спуск прыжком и броском.

При *спуске до полного всплытия* (рис. 95, *а*) спусковые дорожки уходят под воду, и высота воды над порогом дорожек равна сумме осадки судна и спускового устройства. Для улучшения скольжения спусковые дорожки покрывают специальными пластмассами или на них наносят слой жира.

Там, где ширина акватории не позволяет осуществить спуск судна до полного всплытия, применяют *спуск прыжком* (рис. 95, *б*). Спусковые дорожки доходят только до поверхности воды. Судно, поворачиваясь относительно порога, попадает в воду на борт с креном до 50°. Глубина за порогом должна быть достаточной для того, чтобы избежать удара судна о грунт.

При *спуске броском* порог спусковых дорожек находится на 1,5—2 м выше уровня воды. Судно, минуя порог, продолжает движение по траектории и падает бортом в воду при крене до 90°.

Для спуска и подъема судов с небольшим водоизмещением можно использовать *краны*.

При отсутствии спусковых устройств допускается разбивка стапеля в затопляемой зоне. Снятие судна со стапеля осуществляется во время весеннего паводка.

Контрольные вопросы и задания

1. Что входит в техническое задание на строительство судна, кто его разрабатывает?
2. Что такое стапель? В чем преимущество горизонтального стапеля?
3. В чем суть блочного способа строительства судна?
4. В чем преимущество вертикальных судоподъемников перед поперечными гребенчатыми слипами?

Глава XII

ОБОРУДОВАНИЕ И СНАБЖЕНИЕ СУДНА

72. КАНАТЫ И ЦЕПИ

Канаты. Канат — гибкое изделие, изготовленное из стальной проволоки, нитей пряжи (каболок), волокон растительного, синтетического или минерального происхождения. В судовых устройствах канаты применяют в качестве такелажа. Они должны быть прочными, гибкими и износостойкими.

Канаты в зависимости от материала, из которого они изготовлены, подразделяют на растительные (пеньковые, сизальские, манильские, джутовые и хлопчатобумажные), синтетические и стальные.

Растительные канаты по числу прядей подразделяют на трех-, четырех-, пяти- и шестипрядные, а в зависимости от обработки нитей — на бельные и смольные. Смольные канаты изготовляют из пряжи, пропитанной горячей смолой. Они имеют повышенную стойкость против влаги.

Пеньковые канаты изготовляют из пеньки, полученной в результате обработки волокон стеблей конопли. Из пенькового волокна прядут нити, которые по часовой стрелке свивают в каболки. Затем каболки в обратном направлении скручивают в пряди. При скручивании прядей по часовой стрелке получают канат прямого спуска. Если свивка прядей производилась в обратном направлении, то канат называют канатом обратного спуска.

Сизальские канаты свивают из волокон тропического растения агавы. Они не тонут в воде и в 1,5—2 раза прочнее пеньковых.

Манильские канаты изготовляют из волокон травянистого растения абаки и стеблей диких бананов. Они эластичны, обладают высокой прочностью и износостойкостью.

Размер растительных канатов принято определять длиной окружности поперечного сечения в миллиметрах. Их в основном применяют на нефтеналивных судах, так как при работе с ними исключено искрообразование. Хранят растительные канаты на специальных вьюшках или скатанными в бухты на деревянных решетках-щитах для обеспечения доступа свежего воздуха. Нельзя допускать попадания на канаты масла и кислот.

Синтетические канаты изготовляют из волокон синтетических полимеров — капрона, хейлона, лавсана, пропилена и др. Они обладают высокой прочностью, эластичностью, малой массой.

Синтетические канаты по конструкции аналогичны растительным. Их размер определяют также по длине окружности поперечного сечения в миллиметрах. Синтетические канаты обладают существенным недостатком: быстро «стареют» и становятся хрупкими под действием солнечных лучей. При соприкосновении прядей возникает заряд

статического электричества, что приводит к искрообразованию, поэтому их нельзя применять на нефтеналивных судах. Однако синтетические канаты широко распространены на речном флоте. Хранить следует в сухих и защищенных от солнечных лучей помещениях.

Стальные канаты часто применяют на речных судах в качестве снастей рангоута, гибких связей дистанционного автоматического управления и леерного ограждения, при швартовке и буксировке, изготовляют из оцинкованной стальной проволоки. Они обладают высокой прочностью. Размеры стального каната определяются его диаметром.

Различают жесткие, полужесткие и гибкие стальные канаты. Гибкость каната увеличивается благодаря применению пеньковых сердечников. К таким канатам относится «геркулес» — комбинированный канат из стальных оцинкованных проволок и просмоленных пеньковых каболок. Изготовляют его из 4—6 прядей. Каждая прядь состоит из пенькового сердечника, навитых вокруг него 9—10 стальных проволок и обвитых сверху 6—12 пеньковыми каболками. Полученные таким образом пряди свивают вокруг пенькового сердечника. Благодаря пеньковой оболочке канат удобен при работе, применяют его в качестве швартовов. Разрывное сопротивление каната в 2 раза больше разрывного сопротивления пеньковых канатов высшего сорта.

Сравнительные характеристики стального, пенькового и капронового канатов для разрывного усилия 163 кН приведены в табл. 8.

Цепи. Цепь - гибкое изделие, состоящее из отдельных последовательно соединенных жестких звеньев. В судовом такелаже применяют цепи короткозвенные — для талей и стропов в грузовых устройствах, а также длиннозвенные — для леерных ограждений и якорных цепей. Цепи могут быть калиброванными и простыми. Первые имеют точные размеры и форму звеньев, применяют их для работы на звездочках различных механизмов (брашпилей, шпилей, рулевых машин, талей). Среди калиброванных цепей широко распространены на флоте якорные цепи.

Якорная цепь (рис. 96) — часть якорного устройства, предназначенная для соединения якоря с корпусом судна, а также отдачи и подъема якоря. В зависимости от изготовления общих звеньев якорные цепи разделяют на *сварные* и *литые*. По конструкции якорные

Таблица 8

Канат	Диаметр, мм	Длина окружности, мм	Масса, кг, каната длиной 1 м
Стальной	22,0	69	1,4
Пеньковый	63,7	200	3,43
Капроновый	33,4	105	0,66

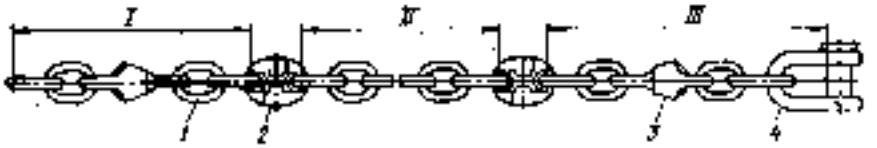


Рис. 96. Якорная цепь:
I—III — смычки якорная, промежуточная, якорная; *1, 2* — звенья обыкновенное и соединительное; *3* — вертлюг; *4* — концевая скоба

звенья бывают *с распорками* и *без распорок*. Цепи одного калибра с распорками на 20% прочнее и меньше вытягиваются. Применяют звенья сварные с распорками, сварные без распорок, литые с распорками, литосварные.

По назначению звенья классифицируются следующим образом:

общее — звено промежуточной смычки;

увеличенное — общее звено большего калибра, предназначенное для присоединения концевого звена к вертлюгу к общему звену, для цепей без распорок увеличенным считается общее звено следующего по ряду большего калибра;

соединительное — разъемное звено, предназначенное для соединения смычек между собой;

концевое — звено круглозвенной цепи без распорки, предназначенное для соединения коренной смычки с устройством для крепления и отдачи якоря и для присоединения концевой скобы к якорной смычке.

Главной характеристикой якорной цепи является калибр, под которым понимают номинальный диаметр сечения общего звена в месте соединения с другим звеном, измеряемый по продольной оси цепи. На речных судах используют якорные цепи калибром 5—40 мм в зависимости от класса судна.

Цепи изготовляют смычками с нечетным числом звеньев. Под смычкой понимают участок якорной цепи, служащий для выполнения определенной функции. Смычки бывают следующих видов:

коренная — смычка, служащая для присоединения якорной цепи к устройству для ее крепления и отдачи;

якорная — смычка, служащая для присоединения якорной цепи к якорю;

промежуточная - отрезок круглозвенной цепи длиной не менее 25 м и не более 27,5 м, располагаемый в промежутке между коренной и якорной смычками.

При монтаже на судне смычки соединяют соединительными звеньями (звеньями Кентера) до нужной длины. Для устранения закручивания цепи при подъеме и опускании якоря применяют вертлюг. Якорную смычку присоединяют к якорю концевой скобой. Вертлюг и концевая скоба являются оборочными единицами якорной цепи.

Размеры якорных цепей подбирают в зависимости от класса и типа судна по характеристикам снабжения в соответствии с таблицами, помещенными в Правилах Речного Регистра РСФСР. Порядок определения массы якоря, длины якорной цепи и их испытания см. далее.

73. ЯКОРЯ

Судовые якоря. Якорь — приспособление для удержания судна или другого плавучего сооружения при стоянке на открытой воде.

Самым распространенным якорем на судах речного флота является *литой якорь с поворотными лапами системы Холла*. Якорь Холла надежен, удобен в эксплуатации, легко втягивается в клюз и безопасен при отдаче на акватории небольшой глубины. Он состоит из веретена и двух лап, которые поворачиваются вокруг оси, проходящей через нижнюю часть веретена. Якоря Холла изготовляют двух исполнений — с веретеном прямоугольного или круглого сечения. Угол разворота лап около 45°. Это позволяет им при натяжении якорной цепи своими заостренными носами постепенно входить в грунт, увеличивая держащую силу, которая достигает $3{,}75G_{яц}$ (где $G_{яц} = mg_{пк}$ — вес якоря, здесь $m_{пк}$ — масса якоря, т; g — ускорение свободного падения, м/с²).

Адмиралтейский якорь прост по конструкции, имеет держащую силу, вдвое большую, чем якорь Холла. Такие якоря широко применяют на земснарядах, дебаркадерах, брандвахтах и других стоечных судах. В последние годы адмиралтейские якоря на транспортном флоте не применяют, так как наличие штока затрудняет укладку якоря в походное положение. К тому же торчащая из грунта вторая лапа на мелководье может повредить корпуса проходящих судов. Учитывая это, чаще в качестве рабочих применяют однолапные якоря.

На скоростных и других судах, где масса является определяющим параметром при выборе судовых изделий, применяют *якоря Матросова*. Его лапы имеют треугольную форму с относительно большой площадью и могут поворачиваться на угол до 35°. Якорь Матросова при малой массе имеет коэффициент держащей силы $k = 12$. На каменистых и илистых грунтах якорь Матросова работает хуже якоря Холла.

Для постановки на якорь плавучих доков, рейдовых швартовных бочек, навигационных буев применяют *безлапые («мертвые») якоря* — винтовые, грибовидные, сегментные, в виде пирамиды. Наиболее часто их изготовляют железобетонными или чугунными.

Расчет и испытание якоря. Якорь и якорные цепи выбирают в зависимости от класса и типа судна по характеристике снабжения по специальным таблицам в Правилах Речного Регистра РСФСР.

Характеристика снабжения:

$$N_c = L(B+H) + A. \qquad (165)$$

Поправка на надстройки и рубки.

$$A = k \Sigma lh, \qquad (167)$$

где l, h — длина и средняя высота отдельных надстроек и рубок, м; k — коэффициент (для судов, у которых суммарная длина надстроек и рубок, расположенных на всех палубах, превышает половину длины судна, $k = 1$; если указанная длина составляет свыше 0,25 длины судна, $k = 0{,}5$, при суммарной длине надстроек и рубок менее 0,25 L поправка не вводится, т. е. $k = 0$).

Якорные цепи испытывают разрушающей и пробной нагрузками в цепепробных установках, обеспечивающих равномерное и постоянное увеличение нагрузки. Сборочные единицы цепи одного и того же калибра можно испытывать одновременно по нескольку штук, последовательно соединенных друг с другом.

Под *пробной нагрузкой* понимают растягивающее усилие, которому подвергаются все смычки, а также остальные детали и сборочные единицы якорных цепей при приемо-сдаточных испытаниях с целью проверки прочности.

Разрушающая нагрузка — максимальное растягивающее усилие, воспринимаемое деталью или сборочной единицей якорной цепи при испытании на разрыв.

Толкаемые составы снабжают якорями и цепями исходя из предположения, что толкач и толкаемые суда — одно целое независимо от числа барж в составе.

Крупнотоннажные суда, плавающие на узких участках рек, где при следовании вниз по течению сделать оборот для постановки на носовые якоря невозможно, должны иметь кормовой якорь, имеющий массу не менее 0,8 средней массы носовых якорей. Для остальных судов масса кормового якоря составляет 0.5 средней массы становых якорей.

Буксир-толкач должен иметь носовое якорное устройство, рассчитанное, как для обычных буксирных судов, а также усиленное кормовое якорное устройство, предназначенное для удержания всего состава. Массу кормового якоря и длину якорной цепи (каната) определяют по специальным таблицам Правил Регистра в зависимости от мощности буксира-толкача.

74. РАНГОУТ И ТАКЕЛАЖ

Рангоут. Совокупность надпалубных деревянных и металлических частей судового оборудования, служащих на современных судах с механическими двигателями для размещения судовых огней, постов наблюдения и связи, антенн радиосвязи и радиолокации, для крепле-

ния грузоподъемных средств к подъема сигналов, называется рангоутом. К рангоуту относятся мачты, реи, стрелы.

Мачты служат для несения сигнальных огней, флагов, радиоантенн и одновременно являются архитектурным оформлением судна. В носовой части теплоход палубы пассажирских судов устанавливают фок-мачту (рис. 97, *а*). Ее изготовляют из стальных труб высотой не менее 6 м. Для прохода судна под мостами и воздушными кабельными переходами фок-мачту делают заваливающейся. Подъем и спуск мачты осуществляют ручными, электрическими или гидравлическими лебедками.

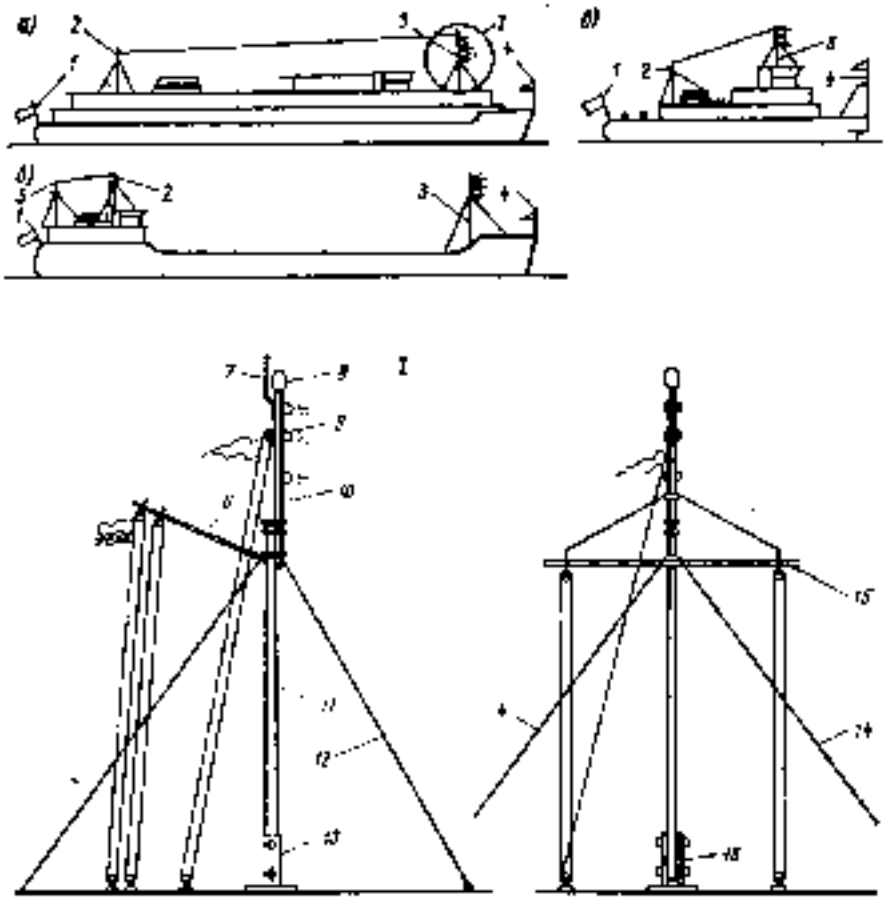


Рис. 97. Расположение мачт на судне:

1, 4 — кормовой и носовой флагштоки; *2* — грот-мачта; *3* — фок-мачта; *5* — физель-мачта; *6* — рафель; *7* — комбинированный; *8* — клотиковый фонарь; *9* — топовые фонари; *10* — стеньга; *11* — мачта; *12* — фершпиг; *13* — шпор мачты; *14* — ванты; *15* — рея

Нижним концом (шпором) мачту устанавливают в степс (гнездо), а палубу под степсом для обеспечения необходимой прочности подкрепляют. На верхней части мачты устанавливают *рею* — поперечную балку для крепления радиоантенн и подъема необходимых сигналов. Часть мачты выше рея носит название *пята* и служит для крепления топовых фонарей. Заканчивается мачта клотиком, на котором закреплен клотиковый фонарь.

На танкерах и грузовых теплоходах фок-мачту обычно устанавливают на главной палубе между грузовыми трюмами и баком судна (рис. 97, *б*).

Буксиры-толкачи обычно имеют только одну фок-мачту позади ходовой рубки (рис. 97, *в*).

Пассажирское судно на корме шлюпочной палубы может иметь вторую, более легкую мачту, называемую грот-мачтой.

На танкерах типа «Великий» установлены три мачты. Фок-мачта расположена между грузовыми танками и баком судна, грот-мачта — впереди надстройки, а кормовая бизань-мачта — между ходовой рубкой и дымовой трубой.

В диаметральной плоскости на баке устанавливают носовой флагшток, а на корме — кормовой флагшток, на котором поднимается Государственный флаг СССР. Флагштоки изготовляют обычно деревянными.

У скоростных судов на подводных крыльях, кроме кормового флагштока, имеется на ходовой рубке небольшой наклонный флагшток для радиоантенны.

В соответствии с Правилами Речного Регистра РСФСР фок- и грот-мачты на всех судах оборудуют молниеотводными устройствами с заземлением на корпус или надстройку судна. Устройство состоит из молниеприемника, токоотвода и медной перемычки. Молниеприемник — это стальной стержень диаметром не менее 13 мм, защищенный антикоррозионным покрытием и возвышающийся на 0,25 м над клотиковым фонарем. При стальной мачте токоотвод не устанавливают, а мачту с корпусом соединяют гибкой медной перемычкой.

Такелаж (см. рис. 97, узел *Л*). Совокупность судовых снастей, предназначенных для поддержания рангоута, подъема сигналов, спуска шлюпок и перегрузочных работ, называется такелажем. Неподвижный такелаж называется *стоячим*, подвижный — *бегучим*.

Обычно мачту крепят к палубе стальными неподвижными канатами. Канаты, идущие от мачты к бортам, называют *вантами*, а к носу — *форштагами*. Канаты, служащие для подъема на мачты сигналов, называют *фалами*. На судах для закрепления и обтягивания такелажа применяют коуши, скобы, талрепы и блоки.

Коуш — круглая (рис. 98, *а*), овальная (рис. 98, *б*) или треугольная (рис. 98, *в*) металлическая или пластмассовая обойма с желобом на наружной стороне — служит для предохранения концов каната от



Рис. 98. Коуши

излома и перетирания. Коуши подбирают для стальных канатов по их диаметру, а для растительных канатов — по длине окружности.

Скобами соединяют концы канатов, такелажных и якорных цепей. Применяют такелажные скобы с прошплинтованным (рис. 99, *а*) и карезным (рис. 99, *б*, *I*, *II*) штырями, изогнутые скобы с карезным (*I*) и прошплинтованным (*II*) штырями (рис. 99, *в*), а также скобы-сжимы (рис. 99, *г*, *I—III*), нагрузка на канат не должна превышать допустимую нагрузку на скобу.

Для обтягивания стоячего такелажа, штуртросов и лееров используют *талрепы* закрытого, открытого и вертлюжного типов.

Направление такелажа изменяют *блоками*. Блок состоит из металлического или пластмассового корпуса с вращающимся внутри одним или несколькими шкивами. Для закрепления блока применяют гаки, скобы или вертлюги. Широко используют клинфас-блоки — одношкивный блок с откидной щекой, что позволяет закладывать в него любой участок каната.

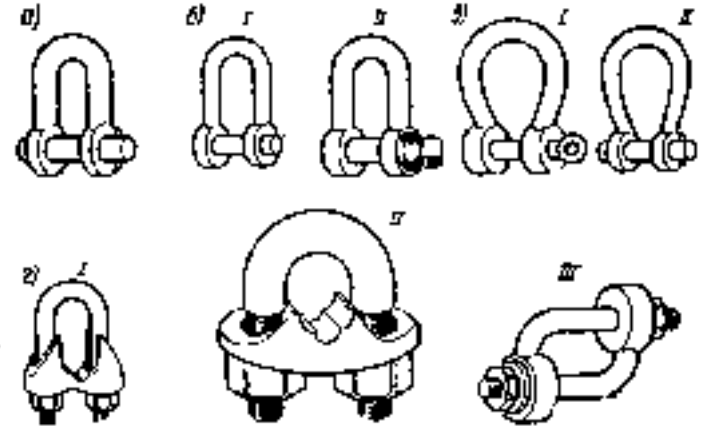


Рис. 99. Якорные скобы

Классификация спасательных средств. Совокупность устройств и приспособлений, предназначенных для спасания людей, называется спасательными средствами. Каждое судно в соответствии с Правилами Речного Регистра РСФСР снабжается спасательными средствами коллективного и индивидуального пользования.

К спасательным средствам коллективного пользования относят спасательные шлюпки, плоты, спасательные приборы (скамейки, столы и другие изделия, обладающие плавучестью).

Спасательная шлюпка — мелкое бепалубное гребное или моторное судно, предназначенное для спасания людей. Шлюпка должна обладать необходимыми остойчивостью и непотопляемостью. Непотопляемость обеспечивается плавучестью материала, из которого изготовлена шлюпка, или специальными воздушными водонепроницаемыми ящиками. В зависимости от материала, из которого они изготовлены, различают деревянные, металлические и пластмассовые шлюпки. Металлические шлюпки чаще изготовляют из легких сплавов. Они просты в изготовлении, прак тичны в эксплуатации и долговечны. В последнее время на судах внутреннего плавания широко применяют пластмассовые шлюпки, конструкция которых описана в параграфе 67.

Прочность спасательной шлюпки и подъемных гаков должна быть достаточной для безопасного спуска на воду при полной загрузке людьми и снаряжением.

Высота надводного борта спасательной шлюпки при полной загрузке должна быть не менее 0,4 всей высоты ее борта. Высота надводного борта рабочей шлюпки, используемой в качестве спасательной, при полной загрузке должна быть не менее 0,3 высоты ее борта.

Спасательные шлюпки должны иметь снаряжение в зависимости от района плавания судна в соответствии с Правилами Речного Регистра РСФСР. Все предметы снабжения, кроме отборного крюка, должны быть закреплены в шлюпке на штатных местах.

Спасательные плоты бывают металлические, пластмассовые, а также из прорезиненной ткани (надувные). Их устанавливают на открытой палубе в легкодоступных местах. Конструкция крепления должна обеспечивать всплытие плота при затоплении судна.

Металлические и пластмассовые плоты имеют в плане прямоугольную форму, а камеры плавучести — круглое сечение. Палубой плота обычно служит натянутая внутри плота парусина.

Надувные плоты (рис. 100) изготовляют из многослойной прорезиненной ткани или синтетических материалов и окрашивают в яркий оранжевый цвет. В походном положении плот хранят на палубе судна в специальном контейнере. Для заполнения плота газом к нему придается баллон с углекислотой, смешанной с азотом. При сбрасывании плота за борт специальный канат, соединенный с судном, натя-

гиваясь, открывает кран баллона, и плот наполняется газом. В ночное время на плоту загорается лампочка. Вместимость надувных плотов, выпускаемых промышленностью, 6—20 чел.

Спасательные приборы широко применяют на пассажирских речных судах. Их размещают на прогулочных палубах и в обычных условиях используют как места для отдыха пассажиров. *Скамейки* и *столы* будучи сброшенными в воду обладают достаточной плавучестью для поддержания на воде людей. С этой целью спасательные приборы имеют леер из пеньковой снасти.

К спасательным средствам индивидуального пользования относят спасательные круги, жилеты и нагрудники.

Спасательные круги изготовляют двух типов: I — морской, II — речной. Круги типа I должны обеспечивать эксплуатацию их во всех климатических районах, а круги типа II — в районах с умеренным

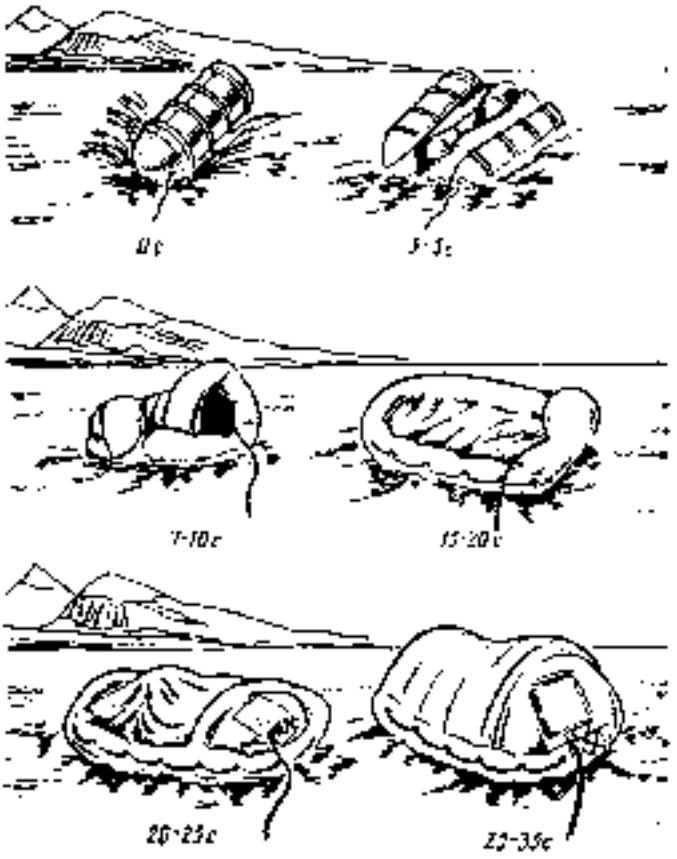


Рис. 100. Схема приведения в рабочее состояние надувного спасательного плота

климатом. Спасательные круги должны поддерживать человека в пресной воде не менее 24 ч. Их изготовляют с внутренним диаметром 400—450 мм, массой 2,5—7 кг, поверхность окрашивают в оранжевый цвет. Материал спасательного круга не должен повреждаться при сбрасывании в воду с высоты: I тип — 25 м, II тип — 18,3 м. На наружной стороне спасательного круга закрепляют леер диаметром не менее 8 мм, длиной не менее четырехкратного наружного диаметра круга. Прочность круга к леера должна обеспечивать возможность подъема человека из воды. Срок службы устанавливается технической документацией на конкретный круг, но не менее 5 лет.

Количество спасательных кругов на борту судна регламентировано Правилами Речного Регистра РСФСР. Кроме обычных спасательных кругов, все суда классов М-СП и М, а также пассажирские суда класса О должны иметь спасательные круги с самозагорающимися буйками.

Спасательные жилеты изготовляют надувными из прорезиненной ткани. Количество спасательных жилетов на судне должно соответствовать числу членов экипажа. Они предназначены для использования при проведении судовых работ, которые могут повлечь падение человека за борт.

Спасательные нагрудники в последнее время изготовляют из полистирола. Нагрудник состоит из отдельных секций и служит для поддержания человека на воде до оказания ему помощи. Количество спасательных нагрудников для каждого судна определяют в соответствии с Правилами Речного Регистра РСФСР в зависимости от класса и типа судна. Их окрашивают в оранжевый цвет и размещают в каютах экипажа и пассажиров в легкодоступных местах. В общих салонах спасательные нагрудники размещают в специальных легкооткрывающихся шкафах, которые хорошо освещаются и имеют надписи «Спасательные нагрудники».

Спасательный нагрудник должен поддерживать в пресной воде в течение 25 ч груз массой не менее 7,5 кг. Прочность нагрудника должна быть такой, чтобы при сбрасывании на воду с высоты 10 м он не получил повреждений. Спасательный нагрудник должен обеспечивать устойчивое положение человека, находящегося в воде, головой вверх и не должен поворачивать его лицом в воду; его можно надевать на любую сторону — лицевую или изнаночную.

Обеспечение спасательными средствами судов смешанного река—море плавания. Международной морской организацией (ИМО) разработана Конвенция СОЛАС-74. Глава III указанной Конвенции «Спасательные средства и устройства» вводится с 1 июля 1991 г. и определяет новые требования в отношении оборудования морских судов, а также судов смешанного плавания спасательными средствами и устройствами исходя из реального риска для мореплавателей в случаях попадания в холодную воду при эвакуации с аварийного судна. Основные требования касаются типов, вместимости и размещения на

судне коллективных спасательных средств — шлюпок и надувных плотов, а также индивидуальных средств защиты человека от переохлаждения.

Спасательные шлюпки тросового спуска грузовых судов, по крайней мере новой постройки, должны быть полностью закрытыми, самовосстанавливающимися при переворачивании, изготовленными из материалов, не поддерживающих горения. Шлюпки устанавливают с обоих бортов судна, каждая из них должна иметь вместимость, достаточную для всех членов экипажа.

На новых судах всех типов должны быть установлены дежурные шлюпки для экстренного спасания упавшего за борт человека. На грузовых судах длиной менее 85 м (за исключением танкеров и газовозов) допускается вместо шлюпок устанавливать только надувные плоты.

Конвенцией введено требование по обеспечению плавсостава *гидротермокостюмами* и *теплозащитными средствами* (*мешками*), защищающими человека от переохлаждения. Нормы снабжения индивидуальными средствами дифференцированы в зависимости от типа судовых спасательных шлюпок. Для полностью закрытых или полностью открытых спасательных шлюпок должно быть по три гидрокостюма на шлюпку. Если в качестве дежурной используется одна из спасательных шлюпок, то она обеспечивается шестью гидрокостюмами.

Теплозащитные мешки выдаются всем членам экипажа, не обеспеченным гидрокостюмами. Кроме того, теплозащитными мешками снабжаются спасательные шлюпки в количестве 10% вместимости.

Спасательные средства всех видов имеют специальные наклейки из светоотражающего материала, а спасательные жилеты — сигнальные огни.

74. СРЕДСТВА ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

Наличие на судне различных горючих материалов представляет опасность возникновения пожара и его быстрого распространения, поэтому противопожарная защита судов предусматривает обнаружение пожара, его предотвращение, ограничение распространения и тушение.

На речных судах обеспечивается прежде всего конструктивная противопожарная защита. С этой целью детали судовых конструкций, а также тепловую и противошумовую изоляцию изготовляют из негорючих материалов. Дерево, применяемое для обстройки судовых помещений, предварительно пропитывают огнезащитными составами. Рекомендуется вместо дерева для отделки кают и салонов применять пластмассы.

Для локализации пожара пассажирские суда длиной более 65 м должны быть разделены по длине не менее чем на две вертикальные

зоны металлическими переборками, непроницаемыми для дыма и пламени; такая огнезадерживающая переборка проходит от борта до борта по всей ширине и высоте корпуса и надстройки.

В качестве огнезадерживающей переборки ниже палубы надводного борта следует по возможности использовать косовую поперечную водонепроницаемую переборку машинного отделения при условии, что она удовлетворяет требованиям огнестойкости.

В огнезадерживающих переборках могут быть сделаны вырезы для прохода людей, оборудованные дверьми или люковыми крышками, равноценными по огнестойкости огнезадерживающим перекрытиям, на которых они установлены. Каждая дверь и люковая крышка должны открываться и закрываться одним человеком с любой стороны огнезадерживающего перекрытия.

На нефтеналивных судах в связи с особенностью их эксплуатации применяют дополнительные конструктивные противопожарные меры. Грузовые наливные цистерны отделяют от машинных отделений коффердамами. Палубные механизмы располагают над сухими отсеками, имеющими газонепроницаемые закрытия. Люковые закрытия должны быть герметичными, а их конструкция должна исключать возможность искрообразования.

Конструкция надстроек судов всех типов должна обеспечивать безопасную эвакуацию людей из судовых помещений в случае пожара.

Лифты и подъемники на пассажирских судах заключены в металлические шахты, устройство которых предотвращает возможность проникновения дыма и пламени из одного междупалубного помещения в другое. С этой целью предусматриваются средства для закрывания шахт, ограничивающие тягу и проникновение дыма.

Камбузы с плитами, работающие на твердом и газообразном топливе, не должны располагаться в помещениях, смежных с кладовыми для хранения топлива и масла.

На речных судах допускается установка бытовых газовых плит с баллонами со сжиженным газом, заполняемыми на газораздаточных пунктах газового хозяйства или кустовых базах. Газовые баллоны должны быть размещены в металлическом шкафу или в закрытых выгородках, непроницаемых со стороны служебных помещений или имеющих вентиляцию, обеспечивающую трехкратный обмен воздуха в час.

Для предупреждения пожаров суда оборудуют системой пожарной сигнализации, которая служит для обнаружения очага пожара и передачи в рулевую рубку сигнала с места его возникновения. Речные суда имеют автоматическую пожарную сигнализацию. Крупные пассажирские суда и самоходный нефтеналивной флот дополнительно оборудуют ручными пожарными извещателями.

Автоматическую пожарную сигнализацию монтируют на судне в жилых и служебных помещениях, грузовых трюмах, кладовых для хранения легковоспламеняющихся материалов, машинном отделении,

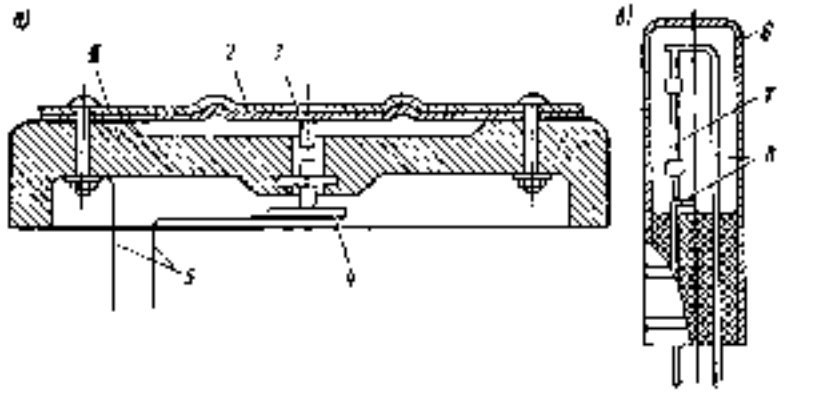


Рис. 101. Пожарные извещатели:
1 — корпус; 2 — пластина биметаллическая; 3 — контакт подвижный; 4 — диск регулировочный; 5 — провода; 6 — защитный кожухчик; 7 — терморезистор; 8 — винт

если в нем нет постоянной вахты. Постоянные датчики-извещатели могут быть температурного или фотоэлектрического действия. Первые срабатывают при резком повышении температуры в помещении, вторые — при появлении пламени или дыма. В *температурном извещателе* (рис. 101, *а*) биметаллическая пластина при нагревании прогибается и замыкает контакты электрической цепи. Неподвижный контакт выполнен в виде регулируемого винта, на котором укреплен диск со шкалой настройки.

Принцип работы *извещателя с полупроводниковым терморезистором* (рис. 101, *б*) заключается в скачкообразном изменении значения электропроводимости при изменении температуры. Извещатель невелик по размерам, время срабатывания не превышает 10 с, что является его главным достоинством.

Все извещатели, установленные в судовых помещениях, проводной связью соединены с коммутатором пожарной сигнализации в рулевой рубке. По сигнальной панели коммутатора можно определить, в каком помещении сработал извещатель, и своевременно объявить пожарную тревогу.

Суда снабжают также пожарными переносными средствами и инвентарем в следующем количестве.

Ручные переносные пенные огнетушители:

по одному огнетушителю на каждые 80 м длины коридоров, на 100 м² площади общественных помещений, на камбузы, работающие на жидком топливе и сжиженном газе, у кладовых для хранения легковоспламеняющихся материалов, на машинное отделение при общей мощности установленных машин до 220 кВт;

по два огнетушителя на машинное отделение при суммарной мощности двигателей до 1470 кВт, на котельные отделения с котлами, ра-

ботающими на жидком топливе, на палубах нефтеналивных судов у мест погрузки и выгрузки;

по четыре огнетушителя на машинное отделение при общей мощности установленных машин более 1470 кВт.

Ручные переносные углекислотные огнетушители:

по одному огнетушителю на камбузы с электрическими плитами, на посты управления с электрическим оборудованием, в помещения электрораспределительных щитов, в киноаппаратные;

по два огнетушителя в помещения с дизель-генераторами и электрогребными установками.

Металлические ящики с песком — по одному ящику на котельное отделение при работе котлов на жидком топливе, у мест приема и раздачи жидкого топлива, у малярной кладовой.

Покрывала (кошма) размером 1,4×2 м — по одному покрывалу на каждые 40 м открытой палубы пассажирских и нефтеналивных судов, на машинное отделение, где машины работают на жидком топливе.

Комплекты пожарного инструмента: один комплект при длине судна до 50 м, два комплекта при длине судна более 50 м.

Переносные пожарные мотопомпы — на дебаркадеры и брандвахты при отсутствии механического насоса.

Пожарное оборудование должно быть окрашено в красный цвет, закреплено по-походному в легкодоступных местах, иметь соответствующие надписи и быть укомплектовано в строгом соответствии с нормативами для данного судна.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем заключается уход за канатами в судовых условиях?
2. Каковы особенности хранения синтетических канатов?
3. Как классифицируют звенья якорных цепей?
4. Назовите типы якорей, применяемых на речном флоте. Какой якорь имеет наибольшую удельную держащую силу?
5. Что такое рангоут?
6. Перечислите клиновинания судовых мачт.
7. Какие спасательные средства относятся к индивидуальным?
8. В чем заключаются особенности международной конвенции СОЛАС-74?
9. Где на судне устанавливают автоматическую пожарную сигнализацию?

Глава XIII

СУДОВЫЕ УСТРОЙСТВА

77. РУЛЕВОЕ УСТРОЙСТВО

Классификация, устройство и расположение рулей. Рулевое устройство — судовое устройство, обеспечивающее поворотливость и устойчивость судна на курсе. В зависимости от типа судна применяют

рулевые устройства с рулями, поворотными насадками или винторулевыми колонками. Рулевое устройство должно обеспечивать управляемость судна в соответствии с нормами Речного Регистра РСФСР. Пассажирские и грузовые суда, у которых площадь бокопой проекции на ДП превышает 800 м², оборудуют подруливающими устройствами. При расчетах учитывают площади проекции надводной и подводной частей судна, а также палубного груза.

Руль состоит из пера и жестко скрепленного с ним баллера. Перо руля образуется обшивкой, вертикальными ребрами и горизонтальными диафрагмами. По форме рули бывают *пластинчатые* и *обтекаемые*. Пластинчатые рули устанавливают на небольших самоходных и несамоходных судах.

В зависимости от расположения баллера относительно пера различают рули:

простой (рис. 102, *а*), у которого ось баллера совпадает с передней кромкой пера;

балансирный (рис. 102, *б*) — ось баллера проходит в районе центра гидродинамического давления, т. е. баллер устанавливается на некотором расстоянии от носовой кромки руля;

полубалансирный (рис. 102, *в*) — ось баллера проходит между передней кромкой и центром гидродинамического давления.

Часть площади балансирного пера руля, расположенная впереди оси баллера, называется *балансирной*. Степень балансирности характеризуется коэффициентом компенсации:

$$k_к = \frac{S_б}{S_р}, \qquad (169)$$

где $S_б$, $S_р$ — площадь соответственно балансирной части и всего пера руля, м².

На судах внутреннего плавания наиболее распространены подвесные балансирные рули, для перекладки которых требуется меньше усилий. У подвесных рулей перо руля подвешивается на баллере и

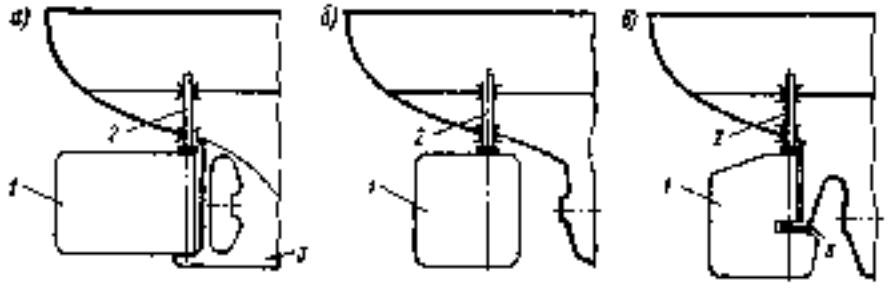


Рис. 102. Рули и их элементы:
1 — перо руля; *2* — баллер; *3* — пята

больше никаких опор не имеет. Баллер в этом случае укреплен в подшипниках (рис. 103). Верхний подшипник (опорно-упорный), скрепленный с палубой судна, воспринимает горизонтальные и вертикальные нагрузки, нижний подшипник (опорный) крепится с набором днища и воспринимает только горизонтальные нагрузки. Он имеет сальниковое уплотнение. На некоторых судах баллер проходит через кормовую часть корпуса в специальной водонепроницаемой трубе, которую называют *дейдвудной*. Верхняя часть этой трубы приварена к палубе, а нижняя — к днищевой обшивке.

Полуподвесные рули в отличие от подвесных имеют дополнительные опоры на ахтерштевне или на специальном кронштейне, что повышает надежность крепления пера руля.

Поворотные насадки (рис. 104) устанавливают на толкачах и крупных грузовых теплоходах для повышения упора гребных винтов и улучшения управления судном. Насадка, как и руль, жестко соединена с баллером посредством которого и поворачивается. Она состоит из наружной и внутренней обшивок, продольных ребер и кольцевых диафрагм. Внутренняя обшивка насадки в средней части имеет усиленный пояс. На судах выпуска последних лет поворотные насадки приводятся в движение индивидуальными рулевыми машинами. Раздельное отклонение насадок улучшает устойчивость судна на заданном курсе и повышает его маневренные качества.

Управляемость судна, оборудованного поворотными насадками,

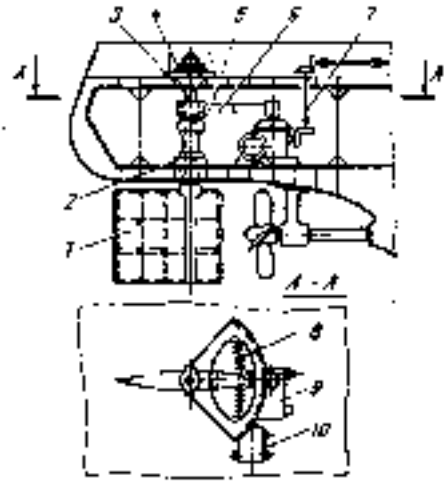


Рис. 103. Рулевое устройство:

1 — перо руля; 2, 3 — нижний опорный и верхний опорно-упорный подшипники; 4 — баллер; 5 — румпель; 6 — зубчатый сектор; 7 — зубчатый ручной привод; 8 — пружинные амортизаторы; 9 — редуктор рулевой машины; 10 — электродвигатель

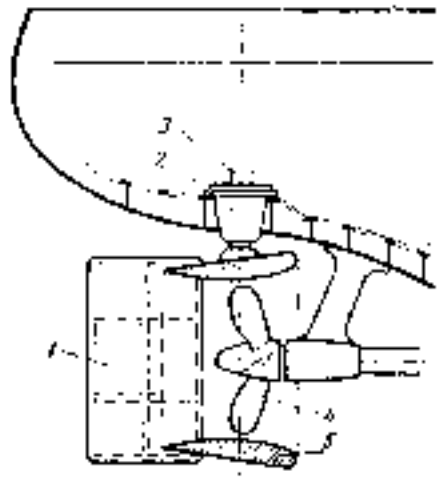


Рис. 104. Поворотная насадка со стабилизатором:

1 — стабилизатор; 2 — нижний опорный подшипник; 3 — баллер насадки; 4 — гребной винт; 5 — поворотная насадка

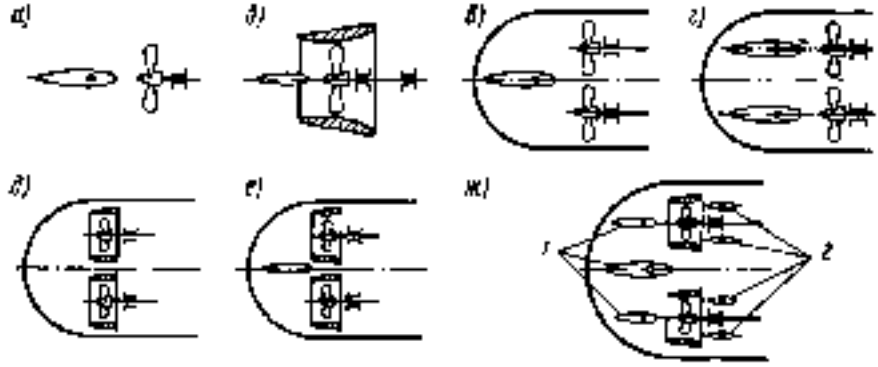


Рис. 105. Расположение судовых рулей:
1 — основные рули; 2 — руль заднего хода

ухудшается при уменьшении скорости движения вследствие уменьшения скорости потока воды. Для улучшения управления при движении на пониженной скорости и по инерции на поворотную насадку ставят *стабилизаторы* (укороченные рули). Длина стабилизаторов

$$l_c = (0{,}55 \div 0{,}65)\, l_н,$$

где $l_н$ — длина насадки, м.

Рациональное расположение рулей и насадок с максимальным использованием эффекта потока, создаваемого гребными винтами, существенно влияет на управляемость судна. У одновинтовых судов руль располагается в ДП за гребным винтом (рис. 105, *а*), может быть также установлена насадка с вертикальным стабилизатором (рис. 105, *б*).

На судах с двумя винтами устанавливают один руль (рис. 105, *в*), но чаще — два руля (рис. 105, *г*). На крупных грузовых теплоходах и толкачах применяют поворотные насадки (рис. 105, *д*). С целью повышения устойчивости судна на заданном курсе в отдельных случаях дополнительно к поворотным насадкам в ДП устанавливают руль (рис. 105, *е*).

У двухвинтовых судов наиболее распространены рулевые комплексы, состоящие из двух поворотных насадок со стабилизаторами; насадки имеют раздельное управление. При этом привод каждой насадки осуществляется от индивидуальной рулевой машины, судно хорошо управляется и дополнительные рули не требуются. При необходимости привод насадок может быть осуществлен и от одной рулевой машины.

На некоторых буксирах и паромах для повышения управляемости устанавливают рули заднего хода (рис. 105, *ж*), а также носовые рули.

Рулевые приводы. Основной и запасный рулевые приводы должно иметь каждое судно. В качестве основного применяют секторный при-

вод со штуртросовой проводкой, румпельно-секторный привод с валиковой передачей и привод непосредственно от рулевой машины.

Секторный привод со штуртросовой проводкой (рис. 106, *а*) используют как основной рулевой привод на небольших судах и как запасной на крупных судах. Штуртрос выполнен из калиброванной цепи, его пропускают через звездочку рулевой машины и по бортам подводят в кормовую часть судна к сектору. Цепь штуртроса, кроме участка, пропускаемого через звездочку, может быть заменена стальным канатом. Для обеспечения постоянного натяжения штуртроса в его ветви монтируют талрепы. Направление движения штуртроса изменяют поворотными, направляющими и поддерживающими блоками. Для смягчения рывков при ударе волн о перо руля устанавливают пружинные амортизаторы. При вращении штурвала рулевой машины штуртрос перепускается с одного борта на другой и осуществляет поворот сектора. С этой целью ветвь штуртроса правого борта крепят к сектору со стороны левого борта и наоборот.

Румпельно-секторный привод с валиковой передачей (рис. 106, *б*) компактен, безопасен и бесшумен в работе; его применяют в качестве как основного, так и запасного приводов. Ведущий вал рулевой машин-

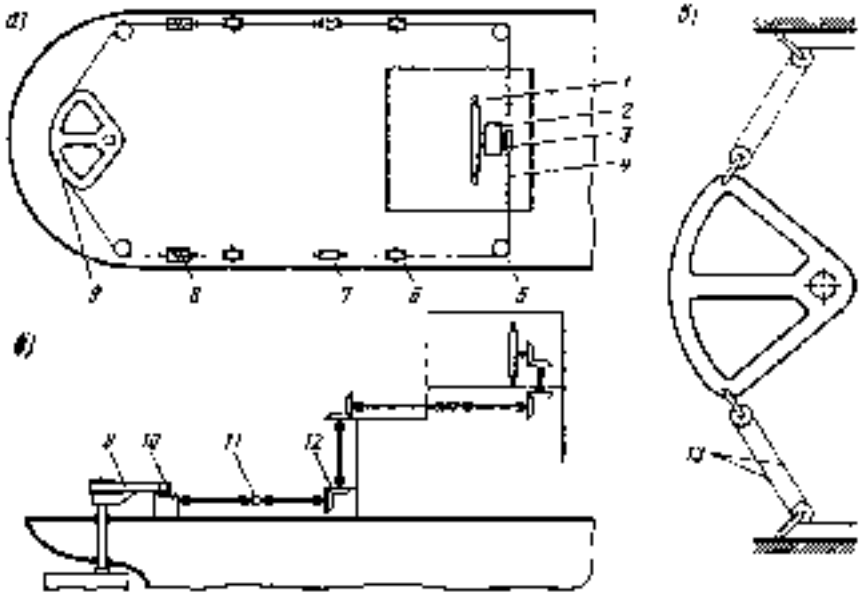


Рис. 106. Рулевые приводы:

1 — штурвал; 2 — редуктор ручной рулевой машины; 3 — звездочка; 4 — цепной штуртрос; 5 — поворотный блок; 6 — поддерживающий ролик; 7 — талреп; 8 — пружинный амортизатор; 9 — сектор; 10 — редуктор; 11 — карданный вал; 12 — конические зубчатые передачи; 13 — румпель-тали

ны приводит во вращение всю систему валиков, соединенных между собой коническими зубчатыми шестернями. Концевой валик передает вращение через червячный редуктор зубчатой рейке сектора. Движение сектора через буферные пружины, служащие амортизаторами, передается на румпель, который вращает баллер. Во избежание заклинивания на изгибах валики привода соединяют между собой карданными шарнирами. Для безопасности валиковый привод закрывают съемными кожухами.

Привод непосредственно от рулевой машины (см. рис. 103) отличается большой надежностью и находит широкое применение на речном флоте в качестве основного рулевого привода. При этом рулевую машину устанавливают в румпельном отделении и соединяют непосредственно с сектором.

На судах смешанного река — море плавания в качестве запасного рулевого привода дополнительно устанавливают румпель-тали (рис. 106, *в*).

Основной привод должен обеспечивать при полной скорости переднего хода перекладку рулей на угол от 35° одного борта до 35° другого борта у водоизмещающих судов не более чем за 30 с, а у скоростных судов — за 15 с. Рулевые приводы имеют обычно ограничители поворота пера руля на борт до 35°. Такой угол перекладки является наивыгоднейшим с точки зрения момента, осуществляющего поворот судна. Положение пера руля по отношению к ДП судна показывает аксиометр — прибор, расположенный на пульте управления в рулевой рубке непосредственно перед рулевым. Аксиометр имеет электрическую связь с датчиком, расположенным в румпельном отделении.

Конструкция рулевых приводов должна обеспечивать переход с основного на запасной привод по возможности немедленно, но не более чем за 10 с. Управление поворотными насадками гребных винтов осуществляют с помощью приводов тех же типов, что и рулей.

Рулевые машины. Подразделяют рулевые машины на ручные, электрические, электрогидравлические и паровые. Паровые рулевые машины на новых судах не устанавливают ввиду малой их экономичности и отсутствия паровых котлов.

Ручные рулевые машины (см. рис. 106, *а*) применяют на небольших судах в качестве основных и устанавливают непосредственно в рулевых рубках. Их можно использовать в тех случаях, когда требование Речного Регистра РСФСР по скорости перекладки руля с борта на борт выполняется при усилии на штурвале не более 118 Н и частоте его вращения не свыше 2,6 $с^{-1}$. В последние годы на судах используют гидравлические ручные машины.

Электрические рулевые машины (см. рис. 103) на судах внутреннего плавания наиболее распространены. Машину устанавливают, как правило, в румпельном отделении. Вращение от электродвигателя через червячный редуктор передается на зубчатый сектор. Сектор через буферные пружины, которыми он соединен с румпелем, поворачивает

баллер руля. Управляют электрическими машинами из рулевой рубки.

Электрогидравлические рулевые машины имеют небольшие размеры, их отличает плавность и бесшумность в работе. Наиболее распространены на судах электрогидравлические рулевые машины с плунжерно-реечным приводом баллера. Электродвигатель приводит в работу гидравлический насос, который перекачивает масло в исполнительном механизме из цилиндра одного борта в цилиндр другого борта. При этом перемещается плунжер, связанный с румпелем, и происходит перекладка руля.

При выходе из строя электроприводного насоса используют аварийный ручной насос, который смонтирован в рулевой колонке. Переход от электрогидравлического привода на ручной и обратно благодаря наличию специального золотникового устройства происходит без дополнительных переключений. Привод насоса осуществляется от штурвального колеса. При этом ручной насос нагнетает жидкость в основные цилиндры исполнительного механизма.

Подруливающие устройства. Этими средствами активного управления оборудуют крупные суда для повышения управляемости при плавании в сложных условиях речных фарватеров, а также при швартовке в портах. Подруливающее устройство туннельного типа (рис. 107) — это труба, перпендикулярная к диаметральной плоскости в носовой, а иногда и в кормовой оконечности судна, в которой расположен гребной винт. Благодаря перемещению винтом потока воды в трубе создается боковой упор. Изменяют направление упора с одного борта на другой реверсированием приводного электродвигателя подруливающего устройства. Для предохранения гребного винта от плавающих предметов на входных отверстиях поперечной трубы устанавливают защитные решетки.

Корпусные детали подруливающего устройства грузового теплохода изготовлены из листовой стали. Гребной винт имеет четыре лопасти и спроектирован на вращение в оба направления. Подруливающее устройство с туннелем соединяют болтами, что позволяет демонтировать его для обслуживания. В этом случае входные отверстия трубы с обоих бортов закрывают задвижками. Управление подруливающим устройством — дистанционное с пульта, установленного в ходовой рубке. Пульт управления должен быть оборудован указателем направления упора. На пассажирских теплоходах типа «Октябрьская революция» в поперечном туннеле подруливающего устройства установлен четырехлопастный крыльчатый движитель, вращающийся от электродвигателя. Силу и направление упора регулируют поворотом лопастей движителя из ходовой рубки.

Пассажирский дизель-электроход «Советский Союз», а также теплоходы типа «Валериан Куйбышев» имеют носовое и кормовое подруливающие устройства, которые позволяют при определенных ре-

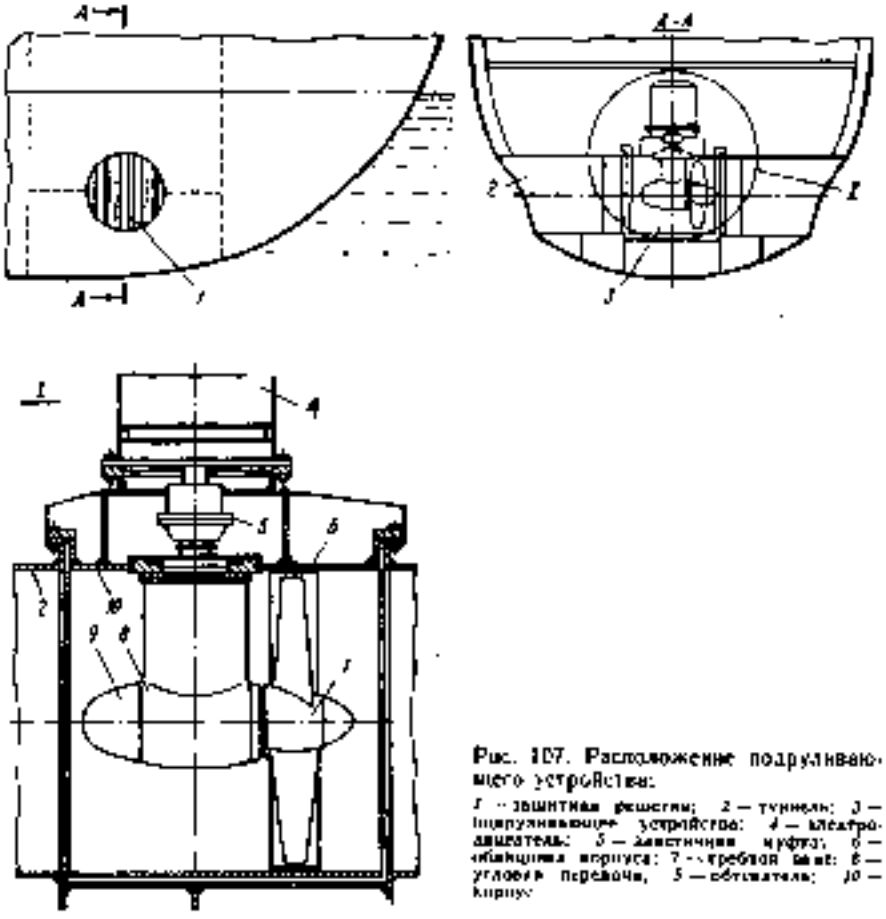


Рис. 107. Расположение подруливающего устройства:

1 — защитная решетка; *2* — туннель; *3* — подруливающее устройство; *4* — электродвигатель; *5* — эластичная муфта; *6* — обшивка корпуса; *7* — гребной винт; *8* — угловая передача; *9* — обтекатель; *10* — корпус

жимах работы развернуть судно практически на месте даже при неработающих главных двигателях.

Рулевое и подруливающее устройства судна должны быть в полной исправности, и своевременное техническое обслуживание их — одна из важнейших задач экипажа.

78. ЯКОРНОЕ УСТРОЙСТВО

Якорное устройство — совокупность приспособлений и механизмов, служащих для удержания судна на якоре, а также обеспечения его отдачи, подъема и хранения. *Якорь* должен создавать держащую силу, способную противостоять силе течения и ветра, и обеспечивать

надежную стоянку судна на различных участках рек и водохранилищ при отсутствии оборудованных причальных стенок, а также может быть использован для выполнения судном отдельных маневров.

Крупные самоходные суда обычно имеют носовое и кормовое якорные устройства, при этом в основном эксплуатируется носовое — с двумя якорями. Толкачи оборудуют мощным кормовым якорным устройством, способным при необходимости удерживать на якоре весь состав.

Якорное устройство (рис. 108) состоит из якорей, якорных клюзов, якорных цепей, механизмов для подъема якорей, стопоров для крепления цепей цепных ящиков.

Якорный клюз предназначен для направления движения якорной цепи при подъеме или отдаче якоря. Это стальная или чугунная труба, проходящая через палубу и борт судна. Внутренний диаметр трубы принимают равным не менее 10 калибров якорной цепи. Бортовые и палубные губы клюза вследствие сложности их формы изготовляют обычно литыми из чугуна или стали.

Веретено якоря, поднятого по-походному, входит в трубу якорного клюза, а лапы его прижимаются к обшивке борта, усиленной в этом месте. Многие суда имеют в районе клюза специальные ниши — углубления в бортах судна, в которые входят лапы якоря.

Цепной ящик служит для хранения *якорной цепи*. Его размеры должны обеспечивать самоукладку цепи при подъеме якоря без раскладывания ее вручную. Стенки ящика изнутри обшивают деревом, а на пол укладывают деревянную решетку. Для направления движения якорной цепи от звездочки брашпиля или шпиля к цепному ящику устанавливают цепную трубу. Внутренний диаметр ее принимают равным длине звена цепи плюс 10 мм. Цепная труба расположена над центром цепного ящика. Коренной конец якорной цепи скрепляют с корпусом судна специальным приспособлением — жвака-галсом, который предназначен для быстрого разъединения коренного звена цепи в аварийной ситуации непосредственно с палубы при помощи валикового привода.

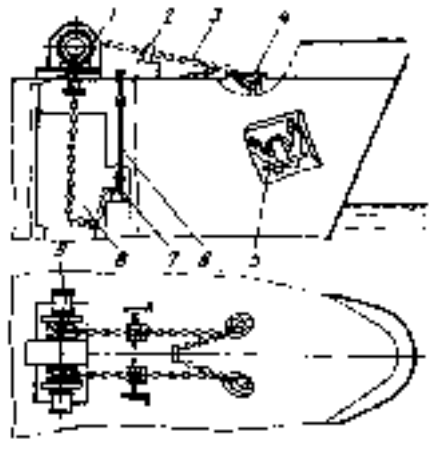


Рис. 108. Элементы якорного устройства:

1 — брашпиль; *2* — цепной (якорный) стопор; *3* — якорная цепь; *4* — якорный клюз; *5* — якорь; *6* — устройство для отдачи якорного конца с палубы; *7* — откидной гак для аварийной отдачи якорной цепи; *8* — цепной ящик; *9* — звездочка якорной цепи

К *механизмам для подъема якоря* относятся брашпили, шпили и якорно-швартовные лебедки. Они могут иметь ручной, электрический,

электрогидравлический или паровой привод. На некоторых несамоходных судах устанавливают также моторучные брашпили и шпили с бензиновым двигателем ЗИД-4,5. На скоростных и малых водоизмещающих судах, на которых вместо якорных цепей для подъема якорей используют канаты, могут быть лебедки с ручным приводом.

Брашпиль устанавливают на палубе в носовой оконечности судна для подъема и отдачи якорей правого и левого бортов. На самоходных судах распространены электроручные брашпили с запасным ручным рукояточным приводом, обеспечивающим подъем якоря в случае выхода из строя электрического привода.

Отдавать носовые якоря можно как раздельно, так и одновременно путем выключения зубчатых муфт и ослабления натяжения соответствующих тормозных лент, удерживающих звездочки якорной цепи. В последние годы брашпили с электроприводом выпускают без ручного привода с устройством для дистанционной отдачи правого якоря из рулевой рубки. На пульте управления в рубке устанавливают счетчик длины вытравленной якорной цепи.

Шпиль — лебедка с вертикальным валом и одним барабаном, используемая для подъема, как правило, кормовых якорей и проведения швартовных операций. Промышленность выпускает якорные и швартовные шпили. На вертикальном валу якорного шпиля расположен швартовный барабан с цепной звездочкой, приводимой во вращение от электродвигателя через червячный редуктор. В верхней части барабана, называемой головкой шпиля, сделаны квадратные гнезда для вымбовок, которыми шпиль вращают вручную. Швартовный шпиль в отличие от якорного имеет барабан без цепной звездочки. В нижней части барабана имеются «собачки», свободно перемещающиеся по основанию при вращении его в одну сторону и затормаживающие барабан при изменении вращения в противоположную сторону. Вращать барабан в противоположную сторону можно, перекинув «собачки» на 180°.

Якорные и цепные стопоры служат для закрепления якорей по-походному. На большинстве судов устанавливают винтовые фрикционные стопоры, которые зажимают якорную цепь, перемещающуюся по плите стопора, посредством двух колодок, соединенных винтом.

Цепной стопор состоит из отрезка цепи небольшого калибра с талрепом и глаголь-гаком. При креплении якоря по-походному цепь стопора пропускают через якорную скобу и крепят к обухам на палубе, после чего талреп набивают.

79. ШВАРТОВНОЕ УСТРОЙСТВО

Швартовное устройство — совокупность механизмов и приспособлений, предназначенных для закрепления судна у причала, стенки шлюза или другого судна. Оно должно обеспечивать подтягивание

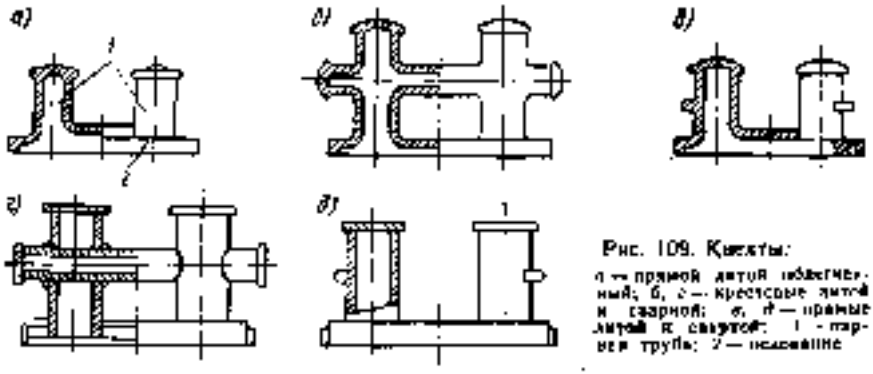


Рис. 109. Кнехты:
а — прямой литой обыкновенный; б, г — крестовые литой и сварной; в, д — прямые литой и сварной; 1 — парная труба; 2 — основание

судна лагом к причалу в условиях шестибалльного ветра, направленного перпендикулярно к ДП.

К основным элементам швартовного устройства относят швартовные канаты, кнехты, киповые планки, роульсы, швартовные клюзы и вьюшки, швартовные механизмы и отбойные (кранцевые) устройства.

Кнехт (рис. 109) — парная тумба с общим основанием, устанавливаемая на палубе судна и предназначенная для закрепления швартовного каната. В зависимости от способа изготовления кнехты подразделяют на литые и сварные, по материалу — на стальные и чугунные, по конструкции — на прямые и крестовые. Кнехты крепят болтами к металлическому фундаменту, приваренному к палубе.

На грузовые суда, у которых значительно меняется высота надводного борта в зависимости от принятого груза, устанавливают преимущественно крестовые кнехты.

Кнехты стандартизированы по диаметру тумб, выбирают их в зависимости от расчетного диаметра стального швартовного каната или длины окружности растительного и синтетического канатов. При этом наружный диаметр тумбы кнехта должен быть не менее 10 диаметров стального каната или одной длины окружности растительного каната.

Киповые планки (рис. 110) — специальные устройства, служащие для изменения направления швартовов и ограничения их перемещения. Их изготовляют литыми или сварными, без роульсов или с роульсами, с наметкой или без нее. Устанавливают киповые планки у борта на некотором расстоянии к носу или корме от кнехта. При таком расположении киповой планки усилие натяжения швартовного каната воздействует вдоль кнехта и тем самым уменьшает нагрузки на кнехт.

Швартовные клюзы устанавливают при наличии на судне фальшборта в районе кнехтов. Клюз представляет собой вырез в фальшборте, окантованный для усиления прочности и предохранения швартовных канатов от перетирания специальным профилем. Обычно швар-

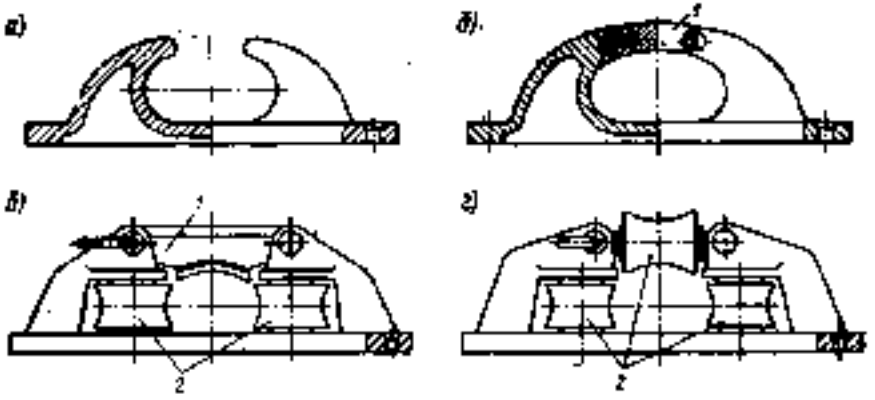


Рис. 110. Клюзы:

а — прямой без роульсов; *б* — прямой с накладкой; *в* — с двумя роульсами и накладкой; *г* — с тремя роульсами; *1* — накладка; *2* — роульсы

товные клюзы делают стальными, приваривая их к фальшборту, а на некоторых судах их изготовляют с роульсами.

Швартовные вьюшки для хранения стальных швартовных канатов по-походному устанавливают вблизи швартовных кнехтов. Они имеют ножной тормоз для обеспечения равномерного стравливания швартовного каната. Во избежание образования колышек барабан вьюшки должен иметь диаметр не менее 20 диаметров навиваемого на него каната.

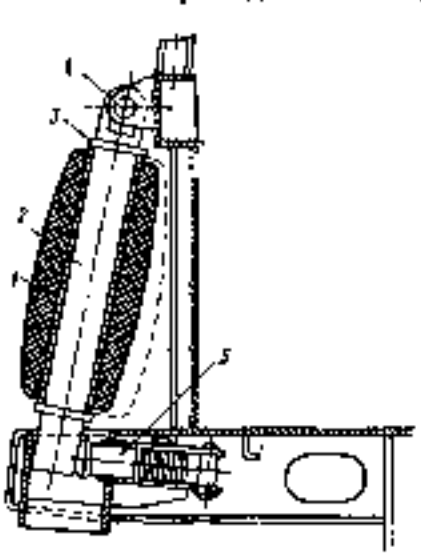


Рис. 111. Пружинный механический кранец:

1 — обойма из вулканизированной резины; *2* — ось кранца; *3* — шайба; *4* — ось; *5* — пружинный амортизатор

Для подачи швартовного каната с судна на причал применяют *бросательный линь* (легость) — легкий пеньковый канат небольшого диаметра, на конце которого вплетен груз.

Швартовные механизмы используют на речных судах для выбирания швартовных канатов. К ним относятся брашпили и шпили со швартовными барабанами (см. параграф 78).

Для использования брашпиля на швартовных операциях зубчатые муфты выводят из зацепления со звездочками якорной цепи. В этом случае при включении электродвигателя брашпиля звездочки якор-

ной цепи, свободно сидящие на грузовом валу, удерживаются ленточными тормозами на месте, а швартовные барабаны (турачки) вращаются, выбирая швартовный канат.

Для предотвращения повреждения борта судна при швартовке к причалу или другому судну предусматривается *кранцевая защита*. По способу закрепления на судне средства кранцевой защиты можно разделить на постоянные и съемные. К постоянным кранцевым устройствам относятся привальные брусья и пружинные механические кранцы (рис. 111). Благодаря вулканизированному резиной валику и тарельчатой пружине они обладают хорошими амортизационными качествами. На рисунке штриховой линией показано смещение кранца при ударе. Иногда на судах применяют мягкие кранцы, сшитые из парусины, набитые ворсом, и оплетенные снаружи пеньковым канатом.

Учеными и конструкторами МИВТ разработан *судовой автоматический комплекс швартовных операций и подачи троса* — АШУ (см. рисунок на форзаце). Управление швартовным комплексом осуществляется дистанционно из рулевой рубки. Комплекс рассчитан для применения на пассажирских судах, работающих на внутригородских линиях, где число швартовных операций за день достигает более 100. Устройство состоит из манипулятора, с помощью которого стальной трос перемещается в швартовную ловушку, закрепленную на береговом причале или дебаркадере. После того как швартовный трос попадает в один из захватов ловушки, электрической лебедкой судно подтягивается к причалу.

80. БУКСИРНОЕ УСТРОЙСТВО

Буксирное устройство (рис. 112) — судовое устройство, механизмы и приспособления которого позволяют судну буксировать другие плавучие объекты или быть буксируемым. Буксирное судно в соответствии с Правилами Речного Регистра РСФСР должно иметь основное и резервное приспособления для закрепления буксирного каната. В качестве основного используют буксирную лебедку, резервного — буксирный гак. Если на судне установлены две однотипные буксирные лебедки, то буксирный гак в качестве резервного устройства можно не применять.

Любое транспортное судно должно иметь приспособление, позволяющее взять его на буксир. Для этого у несамоходных барж, предназначенных для вождения на буксире, устанавливают в носовой части палубы в ДП специальные прочные буксирные кнехты - *битенги* (вертикальные тумбы, скрепленные с полпалубным и днищевым набором баржи). Для буксировки самоходных судов используют носовые швартовные кнехты.

Буксирная лебедка служит для закрепления и регулирования длины буксирного каната в зависимости от навигационной обстановки.

буксирные лебедки устанавливают на всех буксирах и буксирах-толкачах мощностью 448 кВт и более.

Лебедки подразделяют на электрические, гидравлические и паровые. Буксирная лебедка с гидравлическим приводом компактна, надежна в эксплуатации и позволяет регулировать длину буксирного каната без снижения скорости судна. Лебедка состоит из фундаментной рамы, стоек, грузового барабана с встроенным в него гидродвигателем, канатоукладчика и двух ленточных тормозов с гидравлическим управлением. Гидродвигатель лопастный, с вращающимся корпусом, работает от насосного агрегата и развивает большой крутящий момент. Вал гидродвигателя неподвижно закреплен в стойках лебедки. Барабан вращается через фланец корпуса гидродвигателя.

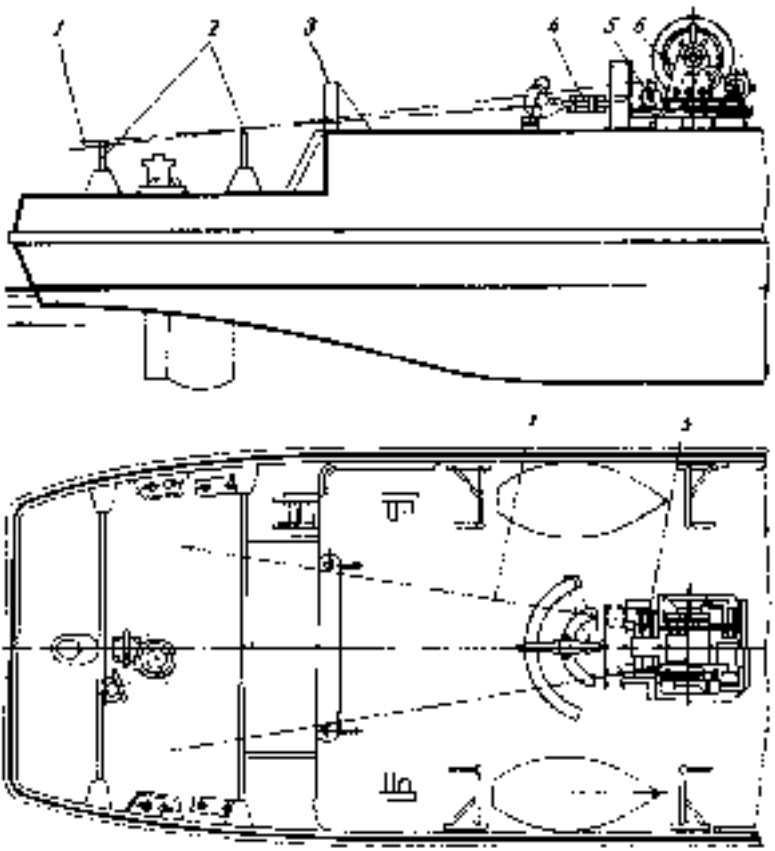


Рис. 112. Буксирное устройство буксира-толкача

1 — канат буксирный; *2* — арка буксирная; *3* — арка ограничительная; *4* — кат; *5* — канатоукладчик; *6* — лебедка

Канатоукладчик лебедки состоит из двух направляющих штанг и ходового винта, привод которого осуществляется от гидродвигателя. Буксирный канат при укладке на барабан пропускают между двумя роликами, расположенными на каретке.

Управление буксирной лебедкой дистанционное из рулевой рубки. Привод электрических буксирных лебедок осуществляется через редуктор от электродвигателя.

Буксирный гак служит для закрепления буксирного каната, а его конструкция обеспечивает быструю отдачу каната в аварийных ситуациях. Гаки могут быть с механическими или гидравлическими затворами, с пружинными амортизаторами или без них. Гак воспринимает на себя полное тяговое усилие, развиваемое буксиром, поэтому прочно соединен с корпусом. Располагают гак в кормовой части в ДП на надстройке по возможности ближе к палубе во избежание опрокидывания судна при боковом натяжении буксирного каната. С этой целью устанавливают также бортовые ограничители. Пружинные амортизаторы гака служат для ослабления динамических усилий при рывках; имеется приспособление для дистанционной отдачи буксирного каната в аварийных ситуациях из рулевой рубки.

Буксирные арки предназначены для поддержания буксирного каната при его ослаблении. Они защищают от повреждения канатом оборудование, расположенное на палубе, а также обеспечивают безопасность людей. Арки устанавливают на расстоянии не более 2,5 м от буксирного гака в корму судна. Число арок для каждого буксира зависит от длины его кормовой части.

81. СЦЕПНОЕ УСТРОЙСТВО

Общие сведения. Сцепное устройство служит для соединения судов при вождении их методом толкания. Соединяют суда при помощи натяжных устройств и сцепных автоматических замков. В зависимости от способа установки разъемные связи во время стыковки подразделяют на ручные, механизированные и автоматические.

Канатное сцепное устройство (рис. 113) состоит из упоров — прочных вертикальных балок, учалочных канатов, талрепов, амортизаторов и откидных гаков. В аварийной ситуации отдача гака предусматривается из рулевой рубки. В целях облегчения операций, связанных с перемещением каната, вместо одной связи из толстого каната могут применяться связи из нескольких тонких легких канатов, работающих параллельно.

Автоматическое сцепное устройство (автосцеп). Это специальное замковое устройство, закрывающееся автоматически при соприкосновении судов. На речных судах применяют одно- и двухзамковые торцовые автосцепы.

Распространены *речные однозамковые автосцепы клешневого типа* (рис. 114). Замок укрепляют в носовой части толкача в ДП. В кормовой оконечности баржи устанавливают массивную вертикальную балку таврового профиля, за которую цепляют клешни замка. Последние удерживаются в замкнутом положении запорным клином при помощи двух пружин. Автосцеп позволяет быстро соединить толкач с баржей без затраты физического труда. Раскрывается замок, как правило, из рулевой рубки буксира-толкача при помощи дистанционного устройства. Основные данные речных замков, изготовляемых серийно, приведены в табл. 9.

На *озерных автосцепах* для уменьшения влияния качки дополнительно устанавливают продольные и поперечные пружинные амортизаторы. Озерные замки выпускают для толкачей и барж. Подвеска автосцепного замка толкача (рис. 115) соединяет все элементы замка в одно целое, обеспечивает его поперечную подвижность, регулирование вылета головки и продольную амортизацию. Амортизация осуществляется благодаря тарельчатым пружинам, набираемым на шток подвески. Число пружин у замков для толкачей больше, чем у баржевых замков. Этим обеспечивается больший ход амортизатора замка толкача. Запирающие детали головки замка (клешни, крюк, кулачок) образуют самотормозящий механизм, не раскрывающийся при натру-

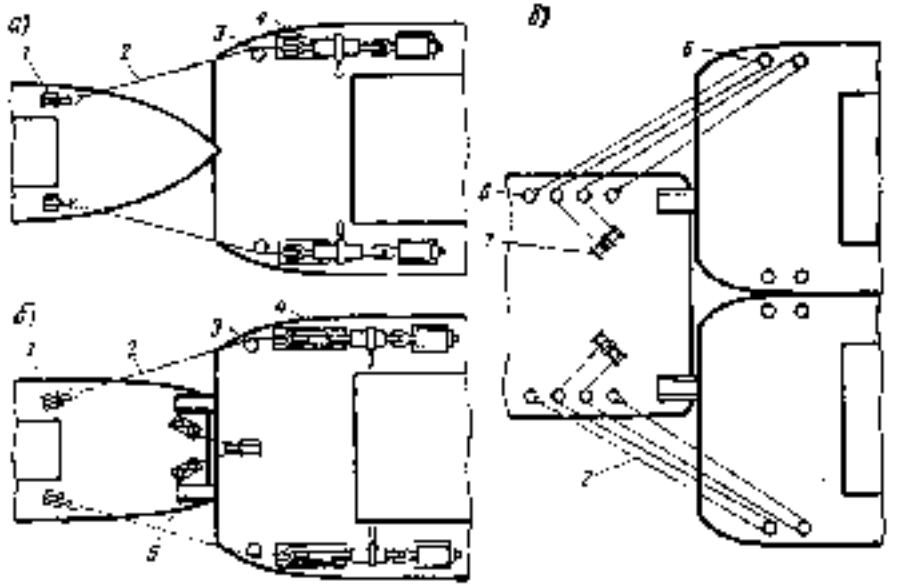


Рис. 113. Канатные швартовные устройства: одноупорные (*а*), двухупорные (*б*) и двухупорные при составе из двух барж (*в*).

1 — кнехт; 2 — канат; 3 — направляющая тумба; 4 — натяжная станция; 5 — упоры; 6 — битенги; 7 — лебедка для натяжения каната

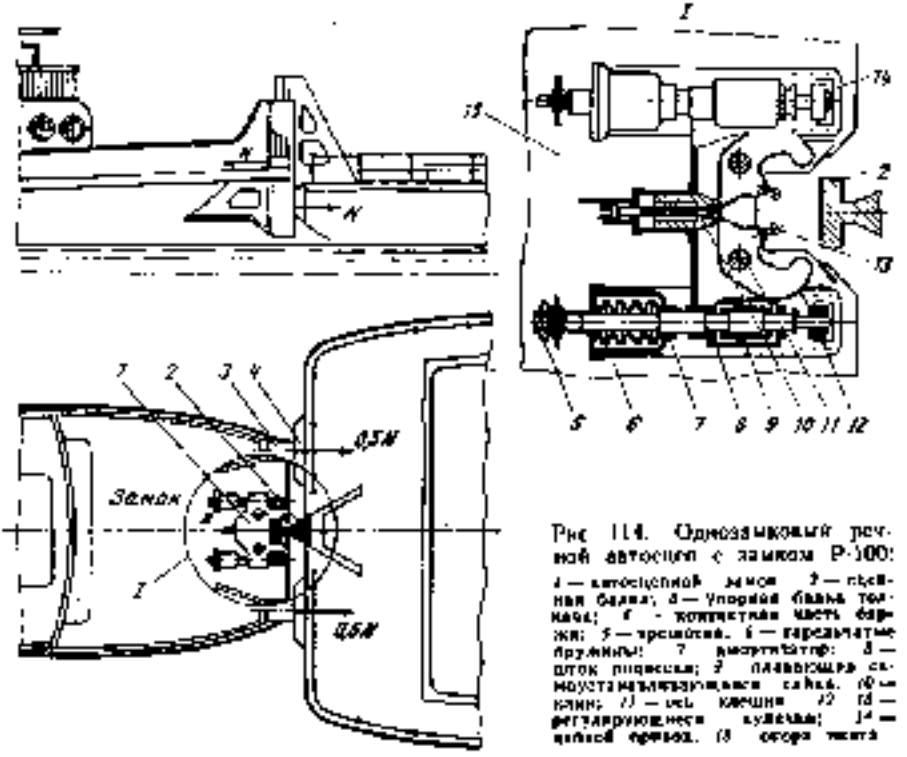


Рис 114. Однозамковый речной автосцеп с замком Р-100:

1 — автосцепной замок; 2 — сцепная балка; 3 — упорная балка тележки; 4 — коническая часть оправки; 5 — пружина; 6 — пластинчатые пружины; 7 — амортизатор; 8 — шток поршня; 9 — плавающая самоустанавливающаяся сухарь; 10 — клин; 11 — ось клешни; 12, 13 — регулирующиеся кулачки; 14 — цепной привод; 15 — опора тяги

жении клешней. Раскрывается замок только после принудительного поворота кулачка с помощью лебедки.

Поперечный амортизатор озерного замка состоит из корпуса, внутри которого размещен набор спиральных пружин, и штока, соединен-

Таблица 9

Тип автосцепа	Расчетная нагрузка, kN	На толкающих мощностью, кВт (не более)	На баржах грузоподъемностью, т (не более)	Конструкция сцепной балки
		Речные автосцепы		
Р-10	98	110	300	Железнодорожный рельс Р-50
Р-20	196	220	1000	То же
Р-20 МП	196	220	1000	»
Р-100Т-6	980	441	—	Специальная Т-образная балка
Р-100	980	1472	3000	То же
Р-100М	980	1472	3000	»

Тип замка	Расчетная нагрузка, кН	На толкачах мощностью, кВт (не более)	На баржах грузоподъемностью, т (не более)	Конструкция сцепной балки
		Озерные автосцепы		
О-20-2	196	220		Железнодорожный рельс Р-50
О-100Т-6	980	220	—	То же
О-150Т-7	1480	590	—	Специальная Т-образная балка
		1472		
О-200Т-7	1960		—	То же
О-200Б-7	1960	—	10 000	»
О-200БН-7	1960	1472	10 000	»
О-200П-6	1960	2944	—	»

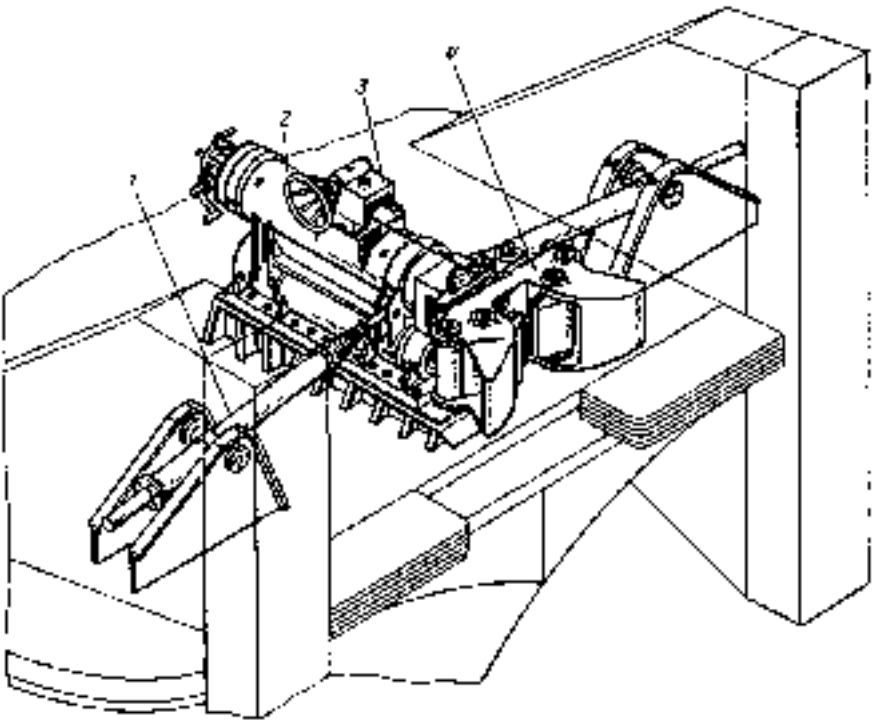


Рис. 115. Носовая оконечность толкача с однозамковым озерным автосцепом:
1 — поперечный амортизатор; *2* — подвеска; *3* — лебедка для расцепки автосцепа; *4* — головка замка

ного с подвеской замка. Применение продольных и поперечных амортизаторов позволяет озерным замкам иметь необходимые степени свободы и поперечную подвижность, что позволяет использовать их в волновых условиях. Характеристики озерных автосцепов приведены в табл. 9.

Универсальные двухзамковые автосцепы (УДР) широко распространены на реках Сибири и Дальнего Востока. Два крюкообразных замка правого и левого бортов (рис. 116) перемещаются в направляющих, которые одновременно являются упорами. Перед автосцепкой замки находятся на защелке в крайнем верхнем положении. При сближении носовой части толкача с транцем баржи защелка с помощью поворотного устройства утапливается, замок падает в направляющей и зацепляется за сцепную балку. Основу сцепной балки составляет круглая стальная штанга, закрепленная в кормовой оконечности баржи. Расцепку замка осуществляют лебедкой, с помощью которой затем поднимают замок в исходное положение. Автосцепы УДР отличает простота конструкции и надежность соединения состава. Основные данные универсальных двухзамковых автосцепов приведены в табл. 10.

Бортовые и изгибающие сцепные устройства. Толкание большегрузных двух- и трехниточных составов потребовало создания *бортовых сцепных устройств* (рис. 117). Конструкция такого устройства позволяет при бортовой сцепке одну баржу подводить к другой, стоящей у причала, под некоторым углом, обеспечивая первоначально сцепку носового замка. Затем производится сцепка кормового замка. При этом носовой замок воспринимает как поперечные, так и продольные усилия, а кормовой — только поперечные.

Сцеп с изгибающим устройством применяют для осуществления независимого поворота судна в составе при движении по узким участкам малых рек. Наиболее распространены изгибающие гидравлические устройства.

Изгибающее устройство состоит из двухзамкового автосцепа типа УДР, установленного на палубе носовой оконечности теплохода, и поворотной сцепной балки на кормовой оконечности баржи (рис.

Таблица 10

Тип автосцепа	Расчетная нагрузка, кН	Область применения		Привод лебедки автосцепа
		на толкачах мощностью, кВт (не более)	на баржах грузоподъемностью, т (не более)	
УДР-6	58	110	150	Ручной
УДР-25	245	220	1000	»
УДР-50	490	441	1500	»
УДР-50к	490	441	1500	»
УДР-75	735	—	3000	Электрический
УДР-100-2	980	1472	3000	»

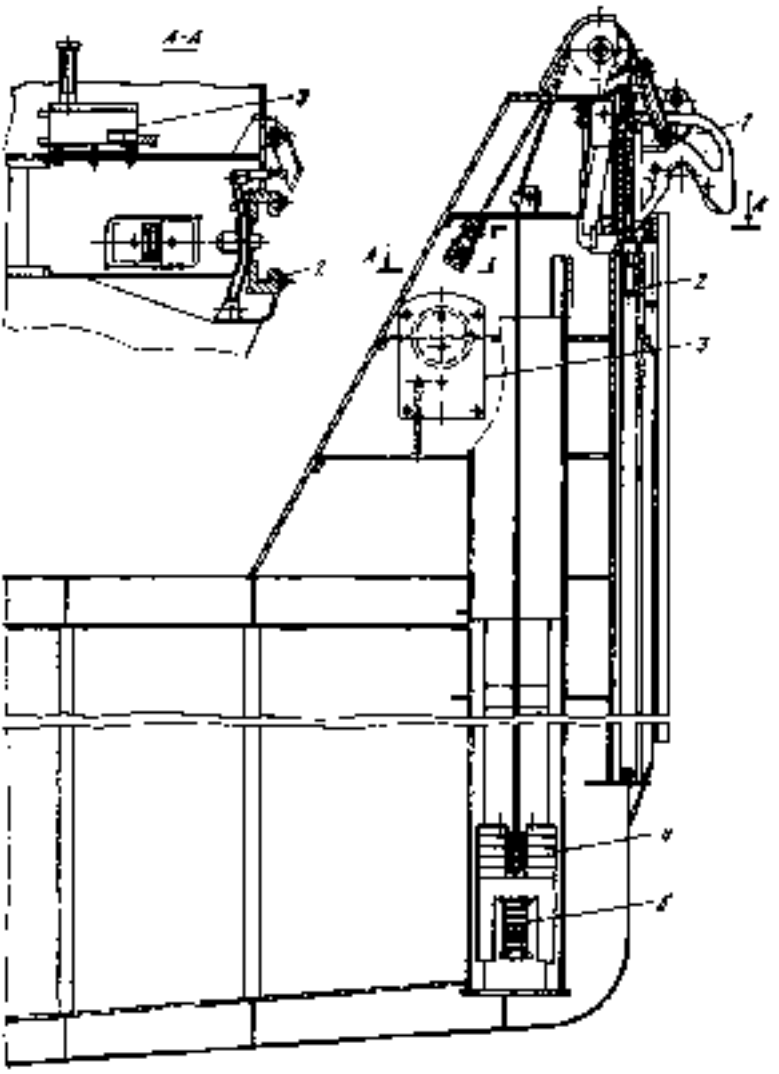


Рис. 116. Универсальный речной плавсвал УДР-100 секции Р-29:
1 — замок; *2* — направляющая; *3* — ручная лебедка; *4* — швартовка; *5* — амортизатор

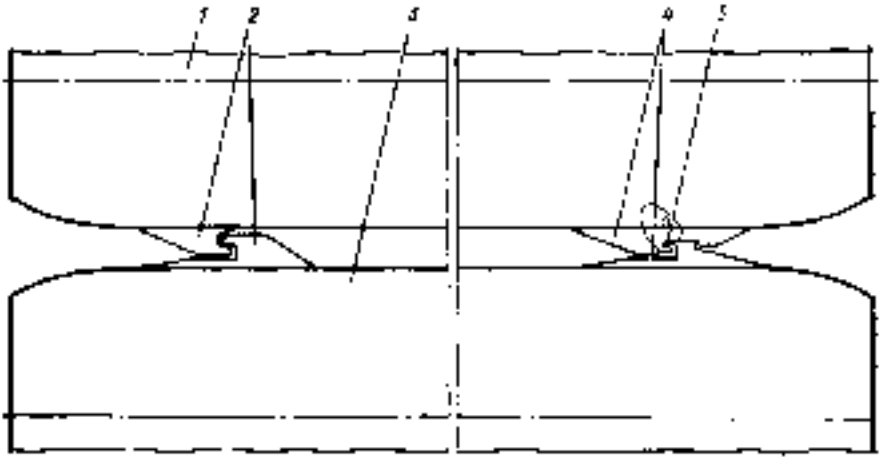


Рис. 117. Бортовой автосцеп:
1, 2 — соединяемые боржи; *3, 4* — косяки и корневой шпангоут; *5* — крюк замка

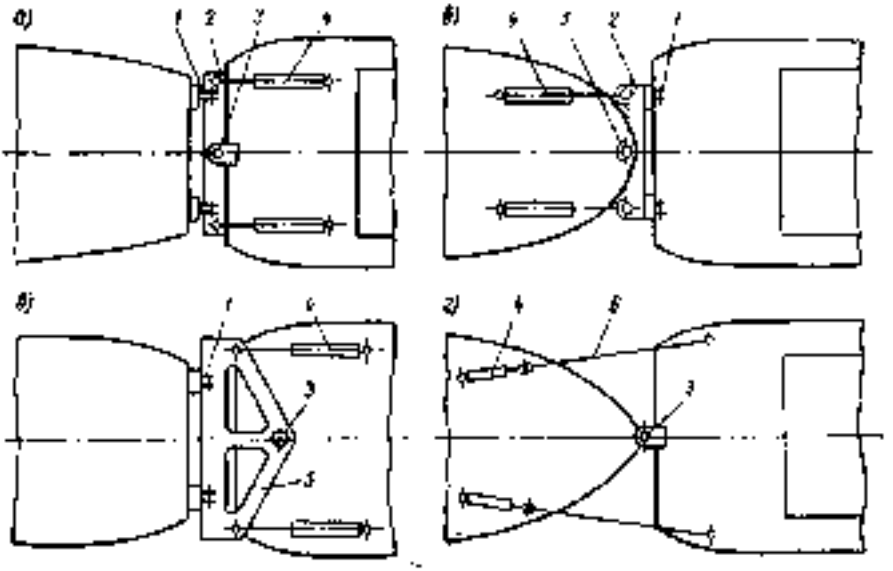


Рис. 118. Изгибающие устройства:
1 — цепные замки; *2* — поворотная балка; *3* — цепь; *4* — гидроцилиндр; *5* — поворотная платформа; *6* — напорные связи

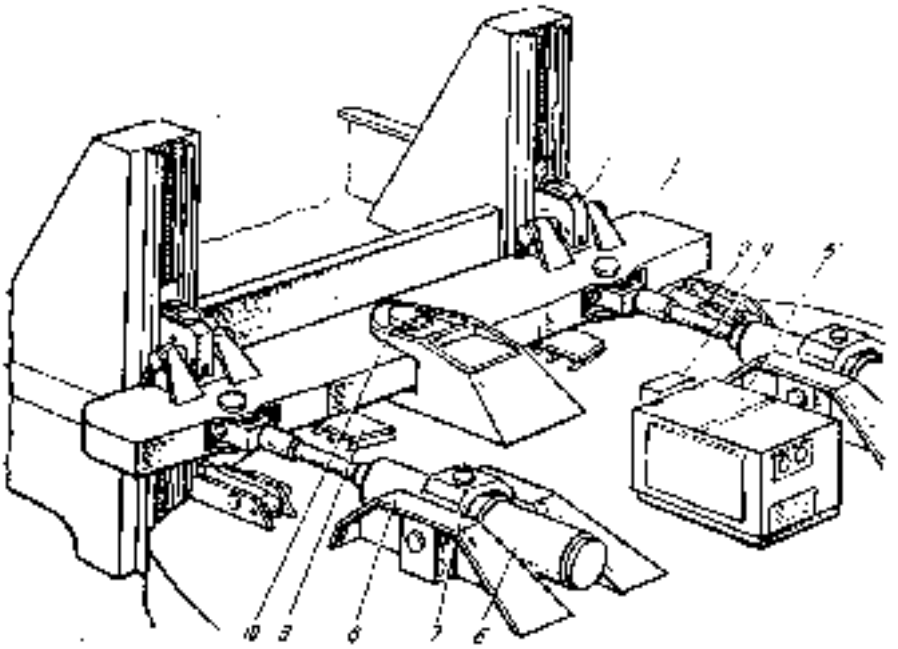


Рис. 119. Изгибающее устройство с поворотной балкой:
1 — автосцеп УДР; *2* — поворотная балка; *3* — фиксатор нейтрального положения; *4* — связи упругие; *5* — насосная станция; *6* — гидроцилиндр; *7* — карданный подвес; *8, 9* — скобы гидроцилиндра и поворотной балки; *10* — кронштейн центральной оси поворота

118, *а, б*). Поворотное сцепление балки имеет шарнир, относительно которого поворачивается судно (рис. 119). Поворот балки осуществляется гидроцилиндрами, для привода которых имеется насосная станция, создающая в системе давление 9,8 МПа. Управляют изгибающим устройством из рулевой рубки.

Применяют также изгибающее устройство с поворотной вертикальной рамой (платформой), шарнирно закрепленной в ДП теплохода (рис. 118, *в*). В этом случае на барже-приставке устанавливают только жесткую сцепную балку для сцепки баржи с теплоходом. Сцепка осуществляется при помощи автосцепа УДР, замки которого устанавливают в упорных колонках поворотной рамы.

Одноупорный канатный сцеп (рис. 118, *г*) приспособлен для изгибания состава благодаря наличию в канатных связях гидроцилиндров.

82. ШЛЮПОЧНОЕ УСТРОЙСТВО

Шлюпочное устройство предназначено для спуска шлюпки на воду, подъема ее из воды и хранения по-походному. Оно состоит из шлюпки, шлюпбалок с лебедками, шлюпталей, ростр-блоков и приспособ-

лений крепления шлюпки по-походному. Спуск и подъем шлюпок обычно механизированы и осуществляются одним человеком, находящимся на палубе или даже в шлюпке. На речном транспорте чаще всего применяют поворотные, склоняющиеся и гравитационные шлюпбалки.

Поворотная шлюпбалка имеет вертикальную ось вращения. При использовании шлюпбалок шлюпку сначала приподнимают с ростр-блоков, на которых она хранится в походном положении, затем путем поворота шлюпбалок выводят за урез надстройки и спускают на воду, потравливая лопарь (канат) шлюпталей с помощью лебедки. Спуск и подъем шлюпок небольшого размера могут осуществляться одной поворотной шлюпбалкой.

Склоняющаяся шлюпбалка (рис. 120) имеет горизонтальную ось вращения. Перед спуском шлюпки шлюпбалку наклоняют вручную при помощи винтового привода.

Поворотные и склоняющиеся шлюпбалки, хотя и просты по конструкции, но неудобны в эксплуатации, и на новых крупных судах их не применяют.

Лучшими эксплуатационными качествами отличаются *гравитационные шлюпбалки* (рис. 121). Преимущество шлюпбалки заключается

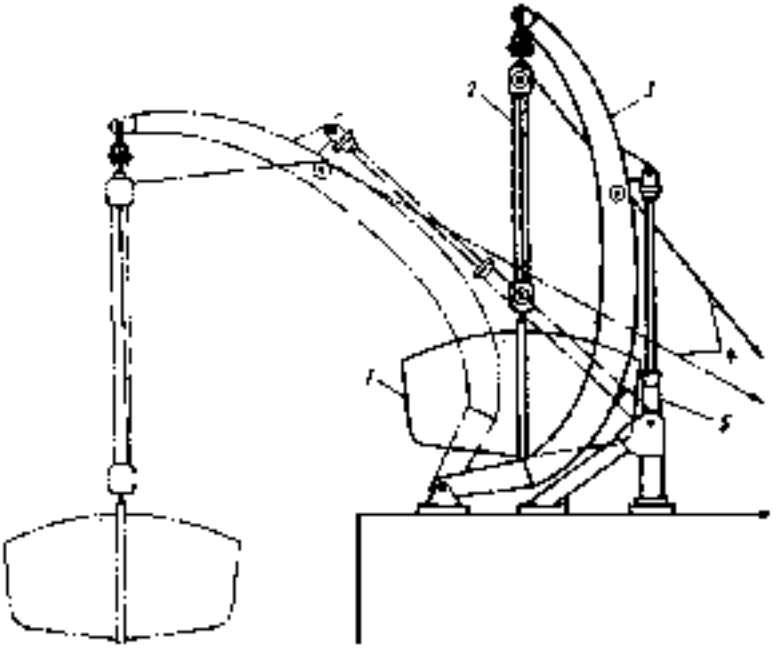


Рис. 120. Шлюпочное устройство со склоняющимися шлюпбалками:

1 — шлюпка; *2* — шлюптали; *3* — шлюпбалки; *4* — лопарь; *5* — механизм наклонения шлюпбалок

в том, что шлюпка опускается автоматически под действием силы тяжести после отдачи стопоров крепления шлюпки по-походному. Это очень важно для судна, потерпевшего аварию и порой не имеющего энергии для приведения в действие шлюпочных лебедок. Для крепления по-походному гравитационные шлюпбалки имеют специальные упоры, на которые и опирается шлюпка.

Шлюпбалки любого типа, обслуживающие спасательные шлюпки, должны обеспечивать безопасный их спуск при крене судна до 15° на любой борт. Продолжительность спуска шлюпки на воду не должна превышать 5 мин, включая время на подготовку к спуску и вываливание за борт. В норму не входит время, затрачиваемое на посадку в нее людей.

Шлюпочные лебедки имеют обычно электрический привод и два вида тормозов: ленточный — для торможения барабана, на который на-

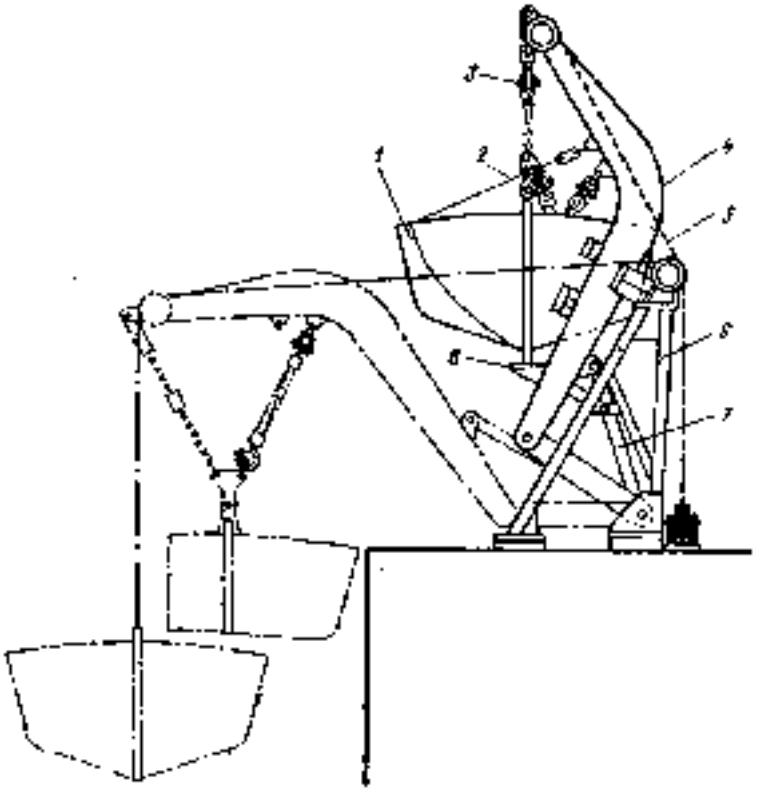


Рис. 121. Шлюпочное устройство с гравитационными шлюпбалками:
1 — шлюпка; 2 — найтов для крепления шлюпки по-походному; 3 — подвеска; 4 — шлюпбалка; 5 — аспарь; 6 — ферма стационарная; 7 — телескопическая часть; 8 — подвижный кронштейн

вается лопарь, и центробежный — для автоматического регулирования скорости опускания шлюпки. Все лебедки имеют запасной ручной привод.

Во избежание срыва шлюпок со штатных мест во время качки их крепят на рострах-блоках или гравитационных шлюпбалках по-походному при помощи найтовов, в которые для быстрой их отдачи вставляют гаплоль-гаки.

Прочность шлюпбалок, лопарей, блоков и других деталей шлюпочного устройства должна быть достаточной для безопасного спуска спасательной шлюпки на воду и подъема с грузом, масса которого

$$m = 1{,}25\,(m_1 + n m_2), \qquad (189)$$

где m_1 — масса шлюпки со снабжением, кг; n — число людей, находящихся в шлюпке; m_2 — масса одного человека (75 кг).

Число людей, находящихся в шлюпке, принимают равным:

для пассажирских судов — числу людей, на которое рассчитана шлюпка (при спуске), и числу людей, находящихся в шлюпке для ее обслуживания (при подъеме);

для других типов судов — числу людей, находящихся в шлюпке для ее обслуживания (при спуске и подъеме).

Лопарик талей должны иметь длину, достаточную для спуска шлюпки на воду при крене судна. При этом на барабане шлюпочной лебедки должно оставаться не менее трех витков каната.

83. ГРУЗОВОЕ УСТРОЙСТВО

Грузовое устройство предназначено для выполнения перегрузочных работ, когда отсутствует береговое крановое оборудование. К грузовому устройству относят судовые поворотные краны, грузовые стрелы и трюмные подъемники различных конструкций. Большинство грузовых судов внутреннего водного плавания не оборудованы собственным грузовым устройством, так как речные порты имеют достаточное количество портальных и плавучих кранов. Однако на некоторых типах судов небольшой грузоподъемности, которые совершают эпизодические рейсы на малые реки Крайнего Севера, устанавливают электрические судовые поворотные краны грузоподъемностью 1,5—2,5 т. Кран с полноповоротной платформой передвигается по рельсам, выставленным вдоль комингсов грузовых люков, что позволяет осуществлять перегрузочные работы во всех грузовых трюмах судна.

К механизмам поворота и передвижения судовых кранов предъявляются повышенные требования. Эти механизмы должны обеспечивать надежную работу при крене и дифференте судна, когда возникают дополнительные силы и моменты как от воздействия груза, так и деталей крана.

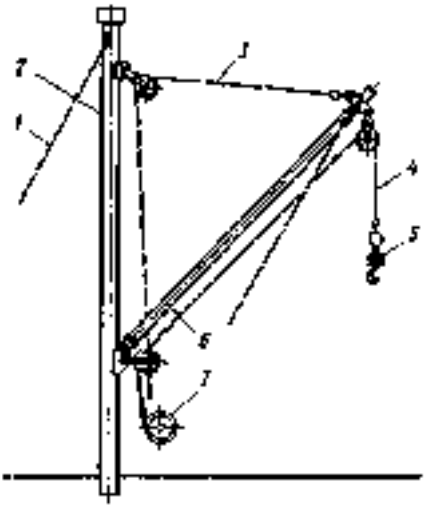


Рис. 122. Грузовая стрела:

1 — оттяжка; *2* — грузовая колонка; *3* — топенант; *4* — шкентель; *5* — грузовой гак с предохранителем; *6* — стрела; *7* — лебедка

На специальных судах типа ОС, предназначенных для сбора с транзитного флота сточных и подсланевых вод, а также сухого мусора, установлены грузовые стрелы для перемещения контейнеров с сухим мусором.

Грузовая стрела (рис. 122) состоит из металлического стержня трубчатой конструкции. Нижний конец стрелы (шпор) шарнирно связан с грузовой колонкой, а верхний конец поддерживается снастью (топенантом), которая наматывается на барабан ручной лебедки.

Лебедки на грузовых стрелах большой грузоподъемности имеют электрический или электрогидравлический привод. Благодаря шарниру стрела может поворачиваться в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Последнее достигается изменением длины топенанта, который стравливают или выбирают. С этой целью коренной конец топенанта крепят к пружине бокового бугеля стрелы, а ходовой конец пропускают через блок к топенантному барабану грузовой лебедки. Поднимают груз с помощью стального каната (шкентеля), который наматывают на барабан ручной лебедки.

Грузопассажирские суда, у которых проведение перегрузочных операций с применением береговых портальных кранов невозможно из-за развитых надстроек, могут иметь в грузовых трюмах электрические лифты-подъемники, монорельсовые пути с электротельферами или грузовые транспортеры.

Технический надзор за судовыми устройствами для подъема и перемещения грузов (со всеми съемными деталями и узлами) грузоподъемностью 1000 кг и более осуществляет Речной Регистр РСФСР на поднадзорных ему судах.

Съемными деталями грузоподъемного устройства считаются блоки, гаки, скобы, вертлюги, талрепы и другие детали, прикрепленные разъемными соединениями к металлическим и деревянным конструкциям, цепям, канатам, за исключением составных частей несъемных деталей — обухов, топенантов, вертлюгов, шпоров и врезных шкивов стрел.

Грузоподъемные устройства подвергаются статическим (с пробной нагрузкой, превышающей рабочую на 25%) и динамическим (с проб-

ной нагрузкой, превышающей рабочую на 10%) испытаниям. При статическом испытании пробный груз подвешивают к грузозахватному приспособлению, поднимают на высоту 150—300 мм над палубой и выдерживают в этом положении 10 мин.

Для кранов с переменным вылетом стрелы испытание проводят при максимальном и минимальном вылетах. Краны с переменной (в зависимости от высоты стрелы) грузоподъемностью испытывают при максимальном и минимальном вылетах с соответствующей этим вылетам пробной нагрузкой.

При любом виде освидетельствования должны быть проверены наличие, исправность и безопасность действия концевых выключателей механизмов подъема, вылета стрелы к передвижения, ограничителей грузового момента и указателей вылета стрелы на судовых и плавучих кранах, указателей крена и дифферента, анемометров на плавучих кранах, тормозов, ловителей, аварийных выключателей, блокировок дверей, трапов и ограждений, световой и звуковой сигнализации.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие рулевые приводы применяют на судах?
2. В чем преимущество балансирных рулей перед простыми?
3. Чем объясняется необходимость установки на судах подруливающих устройств?
4. Назовите механизмы для подъема якоря.
5. Какие устройства применяют на судне для изменения направления швартовов?
6. Как подразделяют буксирные лебедки в зависимости от привода?
7. Какие сцепные устройства применяют на судах для толкания составов?
8. В чем преимущество гравитационных палубных кнехтов перед поворотными или складывающимися?
9. Назовите рангоут и такелаж грузовой стрелы.

Глава XIV

СУДОВЫЕ СИСТЕМЫ

84. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ

Судовая система — сеть трубопроводов с обслуживающими их механизмами, аппаратами, приборами, предназначенными для выполнения на судне определенных функций. Системы подразделяют на общесудовые и специальные.

Общесудовые системы необходимы для нормальной эксплуатации транспортных, технических, служебно-вспомогательных судов и их жизнеобеспечения (балластная, осушительная, пожарная, фановая, водоснабжения, искусственного микроклимата и др.).

Наличие *специальных систем* определяется назначением судна (дыхательная и подогрев нефтепродуктов — на танкерах, охлаждение трюмов — на рефрижераторных судах и др.).

Основные общесудовые системы в зависимости от назначения можно объединить в группы следующим образом.

Трюмные системы:

балластная — изменение осадки, ликвидация либо создание крена или дифферента судна;

осушительная — удаление небольших масс воды, попавшей в корпус при мойке помещений или палуб судна, а также конденсата;

водоотливная — удаление из корпуса больших масс воды при аварии.

Системы водоснабжения:

питьевой воды — подача питьевой отфильтрованной воды;

мытьевой воды — подача холодной и горячей воды в ванные и душевые;

забортной воды — подача воды из-за борта для мытья палуб, охлаждения двигателей.

Санитарные системы:

фановая — удаление фекальных и сточных вод от санитарных узлов;

очистки и обеззараживания сточных вод;

шпигатная — удаление воды с палуб и платформ.

Пожарные системы:

пожарной сигнализации — обнаружение очага пожара;

водо-, паро- и пенотушения;

углекислотного (инертными газами) и жидкостного (огнегасительной жидкостью) тушения.

Системы искусственного микроклимата:

вентиляция — создание необходимого обмена воздуха в судовых помещениях;

отопления — поддержание положительной температуры в судовых помещениях путем обогрева;

кондиционирования воздуха — обеспечение подачи воздуха заданной чистоты в судовые помещения;

охлаждения — охлаждение воздуха в рефрижераторных трюмах и грузовых камерах.

Специальные системы танкеров:

грузовая — прием и выкачивание нефтепродуктов;

зачистная — удаление остатков нефтепродуктов из грузовых танков;

газоотводная — удаление паров нефтепродуктов из грузовых танков в атмосферу;

подогрева груза (вязких нефтепродуктов).

По принципу управления судовые системы подразделяют на следующие:

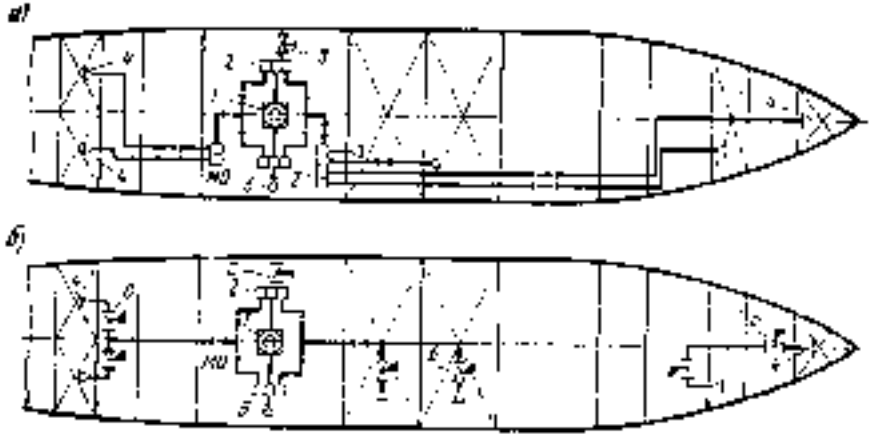


Рис. 123. Принципиальные схемы судовой балластной системы:
1 — насос; 2 — кингстная коробка; 3 — невозвратно-запорный клапан; 4 — приемник; 5 — ящиковый кингстон; 6 — клапан с цепным приводом

централизованные — системы обслуживаются одним насосом или группой насосов (механизмов), находящихся в машинном отделении;

автономные — механизм обслуживает только один из отсеков судна;

групповые — механизм обслуживает группу отсеков;

децентрализованные — механизм обслуживает все потребители через общий магистральный трубопровод.

Судовые системы современных грузовых судов выполняют, как правило, по централизованному принципу (рис. 123, *а*). Это позволяет достичь высокой оперативности управления системами из машинного отделения или из рулевой рубки, а также обеспечить перекачивание жидкостей из одних цистерн в другие.

На судах небольшого водоизмещения иногда можно встретить судовые системы, работающие по децентрализованному принципу управления (рис. 123, *б*).

Трубопроводы, входящие в состав судовых систем, собирают из отдельных труб, соединенных при помощи фланцевых, муфтовых, ниппельно-торцовых или дюритовых путевых соединений. Тип соединения выбирают в зависимости от диаметра трубопровода, давления рабочей среды в системе, условий проведения монтажно-демонтажных работ.

Фланцевые соединения (рис. 124, *а*) находят наибольшее применение в судовых системах для труб с условным проходом более 20 мм ($D_y = 20$). Обычно фланец привариваю к трубе. Фланцы соединяют между собой болтами. Для обеспечения плотности соединения между фланцами устанавливают прокладку. Материал прокладок выбирают в зависимости от рода и параметров протекающей по трубопроводам

среды. Для трубопровода при температуре воды до 50 °С применяют прокладки из резины или прокладочного картона, для трубопровода горячей воды — прокладки из паронита. В нефтепроводах распространены прокладки из специальной нефтестойкой резины и прессшпана, в трубопроводах с агрессивными жидкостями и газами — медные прокладки.

Муфтовые соединения (рис. 124, *б*) применяют для стыковки водогазопроводных труб преимущественно в судовых системах отопления и водоснабжения. При этом на конце одной трубы (слева) *8* нарезают удлиненную резьбу, позволяющую ввернуть при соединении контргайку и муфту одновременно. Длина резьбы на конце второй трубы *5* равна половине длины полумуфты. Трубы соединяют, свинчивая муфту со стыка до упора резьбы на второй трубе. Для обеспечения необходимого уплотнения подкладывают паклю или лен, пропитанные белилами, как между контргайкой и муфтой, так и в резьбу муфты и тру-

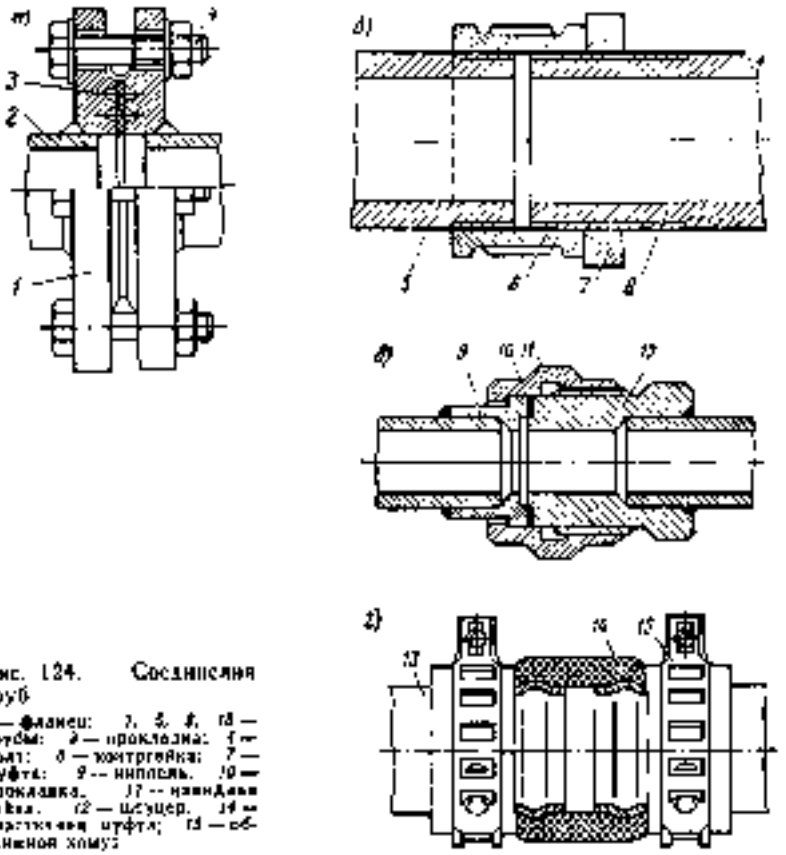


Рис. 124. Соединения труб

1 — фланец; *2*, *5*, *8*, *13* — трубы; *3* — прокладка; *4* — болт; *6* — контргайка; *7* — муфта; *9* — ниппель; *10* — прокладка; *11* — накидная гайка; *12* — штуцер; *14* — чугунная муфта; *15* — обжимной хомут

бы 5. Муфтовые соединения применяют для трубопроводов с условным проходным сечением до D_y — 50.

Штуцерно-торцовые соединения (рис. 124, *в*) используют в трубопроводах с небольшими условными проходами (до D_y — 22). Необходимую плотность соединений обеспечивают прокладкой, которую устанавливают между штуцером и ниппелем и зажимают накидной гайкой. Прокладки штуцерно-торцовых соединений изготовляют из ларонита, покрытого слоем графита, или из листовой меди.

Дюритовое соединение (рис. 124, *г*) состоит из эластичной муфты (из резинотканевого шланга) и обжимных хомутов. Дюритовые соединения применяют на судах при соединении трубопроводов с двигателями и механизмами, имеющими вибрацию.

В судостроении для судовых систем применяют в основном трубы из углеродистой стали, которые разделяют на бесшовные горячекатаные, бесшовные холоднотянутые и холоднокатаные. На отдельные ответственные узлы судовых систем, где недопустимо образование ржавчины, можно устанавливать трубы из нержавеющей стали, меди, латуни или легких сплавов. В последние годы широко распространяются пластмассовые (полиэтиленовые, винипластовые) трубы. Применяют также стальные трубы, футерованные полиэтиленом, и эмалированные.

Для удобства обслуживания трубопроводы окрашивают в различные цвета согласно Правилам окраски судов, например трубы системы забортной воды — в зеленый цвет, пожарной системы — в красный и т. п.

Судовую трубопроводную арматуру, устанавливаемую для управления работой судовых систем, по назначению подразделяют на следующие виды:

запорную для перекрытия потока рабочей среды (задвижки, клапаны, краны);

регулирующую для регулирования параметров рабочей среды посредством ее расхода (редукционные и дроссельные клапаны);

предохранительную для автоматической защиты оборудования от аварийных изменений параметров среды (предохранительные клапаны, фильтры);

распределительную для распределения потока рабочей среды по определенным направлениям (распределительные клапаны и краны).

По способу изготовления арматура бывает *литая*, *сварная* и *штампованная*, а по способу соединения с трубами - *фланцевая*, *муфтовая* и *штуцерная*.

Привод управления арматурой может быть *местным* или *дистанционным*. Дистанционные приводы бывают *валиковые*, *гидравлические*, *пневматические* и *электрические*.

Механизмы судовых систем служат для сообщения рабочей среде давления, скорости и обеспечения необходимой подачи. При работе с

жидкостями применяют насосы поршневые, лопастные, струйные и шестеренные. Для работы с газами устанавливают центробежные или осевые вентиляторы, а также поршневые или лопастные компрессоры.

85. ТРЮМНЫЕ СИСТЕМЫ

К трюмным относят системы: балластную, осушительную и водоотливную.

Балластная система предназначена для придания судну необходимых мореходных качеств путем изменения осадки, крена и дифферента благодаря приему, перекачиванию или откачиванию водяного балласта. Прием балласта приводит к увеличению осадки и повышению остойчивости судна, улучшает управляемость и снижает ветровую нагрузку. На грузовых теплоходах балласт принимают обычно при отсутствии груза или неполной загрузке судна.

Балластная система (см. рис. 123) состоит из балластных цистерн, насосов, трубопроводов для приема и выкачивания балласта, арматуры, контрольно-измерительных приборов и специальных труб для обеспечения выхода воздуха из цистерны при ее заполнении. Современные грузовые суда оборудованы балластными системами, выполненными по централизованному принципу управления.

Балластный трубопровод прокладывают как в междудонном пространстве, так и в грузовом трюме. Во втором случае трубопровод защищают от возможного повреждения грузом или грейфером при перегрузочных работах. Для приема забортной воды на судне устанавливают специальные кингстоны (рис. 125) с защитной решеткой. Для очистки приемного отверстия патрубка его периодически продувают водой, паром или сжатым воздухом через клапан продувания. Место расположения приемников балластного трубопровода должно обеспечивать максимальное откачивание балласта из балластных цистерн.

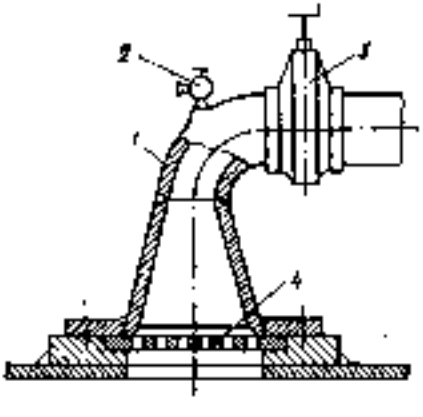


Рис. 125. Кингстон для приема забортной воды:
1 — патрубок; 2 — клапан продувания; 3 — кингстон; 4 — защитная решетка

Осушительная система предназначена для удаления из корпуса небольших масс воды, появляющихся вследствие конденсации и мойки судовых помещений. Система состоит из осушительных средств — эжекторов или насосов, трубопроводов и приборов контроля за уровнем трюмной воды.

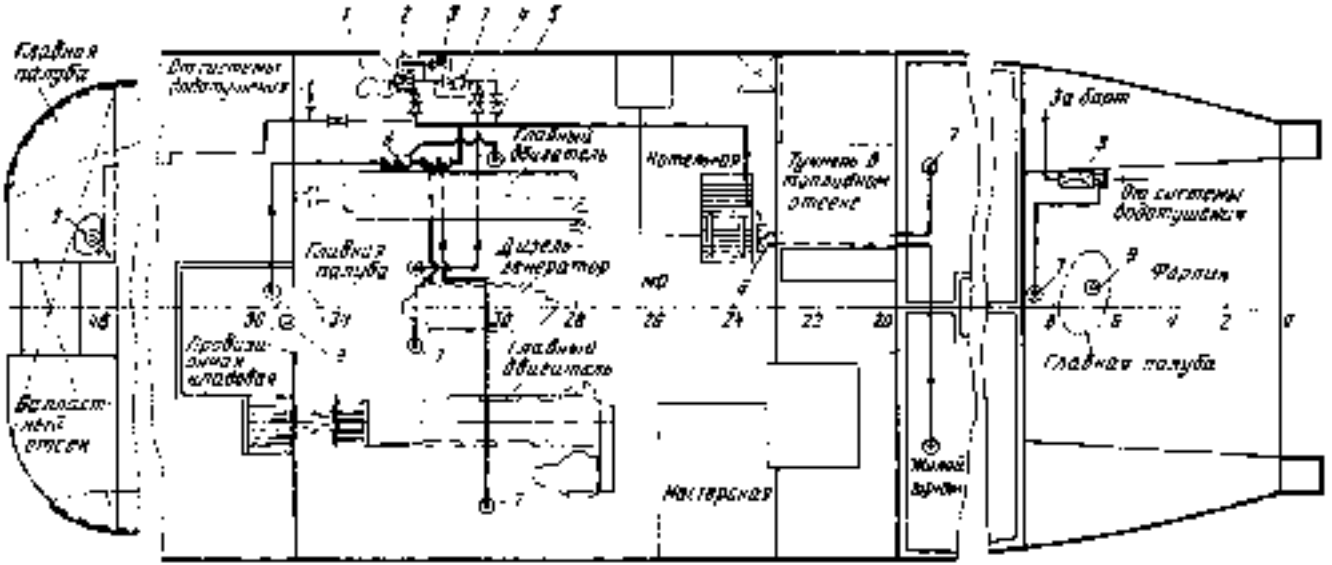


Рис. 125. Осушительная система буксира-толкача:

1 — кингстон; 2 — аварийная втулка; 3, 4 — угловой и проходной инжекторно-запорные клапаны; 5 — эжектор; 6 — водяная коробка; 7 — приемные сетки; 8 — водоструйный эжектор; 9 — нагнетательные трубки

Осушение машинного и румпельного отделений, например, буксира-толкача (рис. 126) централизованное. Из машинного отделения подсланевую воду осушительным насосом через кингстон подают к палубной втулке и через нее в отведенные емкости для последующей сдачи специальным судам. Централизованное управление осушением машинного и румпельного отделений осуществляют при помощи невозвратно-запорной клапанной коробки, углового и проходного невозвратно-запорных клапанов. Осушение форпика автономное с помощью водоструйного эжектора. Рабочую воду к эжектору подают от системы водотушения.

Осушительная система для защиты приемных патрубков от загрязнения и попадания мусора имеет съемные приемные сетки. Уровень трюмных вод замеряют метрштоком через измерительные трубы.

На некоторых судах осушительная система снабжена электрической сигнализацией или автоматизирована. Во втором случае установленные в сточных колодцах датчики при поступлении воды до определенного уровня включают приводы клапанов и осушительные насосы.

Водоотливная система служит для удаления из корпуса судна больших масс воды при аварии. Этой системой оборудуют специальные спасательные суда. Откачивание воды из отсеков поврежденного судна эффективно только при заделанной пробоине, когда поступает небольшое количество забортной воды, поэтому при аварии необходимо принимать экстренные меры по заделке пробоины.

86. СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И САНИТАРНЫЕ

Система водоснабжения (рис. 127). Система состоит из комплекса различного оборудования, предназначенного для приема, подготовки к подаче воды для питьевых и бытовых целей. Речные суда получают питьевую воду из береговых городских водопроводов или специальных судовых станций, приготавливающих питьевую воду из забортной.

В соответствии с требованиями санитарных правил вода для бытовых целей также должна быть безопасной в эпидемиологическом отношении и очищена от механических примесей, поэтому на речных судах, как правило, предусматривают объединенную систему питьевой и бытовой воды и выполняют ее в соответствии с требованиями к системе питьевой воды.

Хранят питьевую воду в цистернах, покрытых изнутри цементным раствором, что предотвращает образование ржавчины и порчу воды. Воду из городского водопровода принимают закрытым способом по оцинкованному трубопроводу с любого борта судна. Приемные патрубки трубопровода возвышаются над палубой на 400 мм и имеют надежное закрытие, предотвращающее загрязнение воды.

На судах старой постройки и небольших современных судах для обеспечения распределения воды по источникам потребления само-

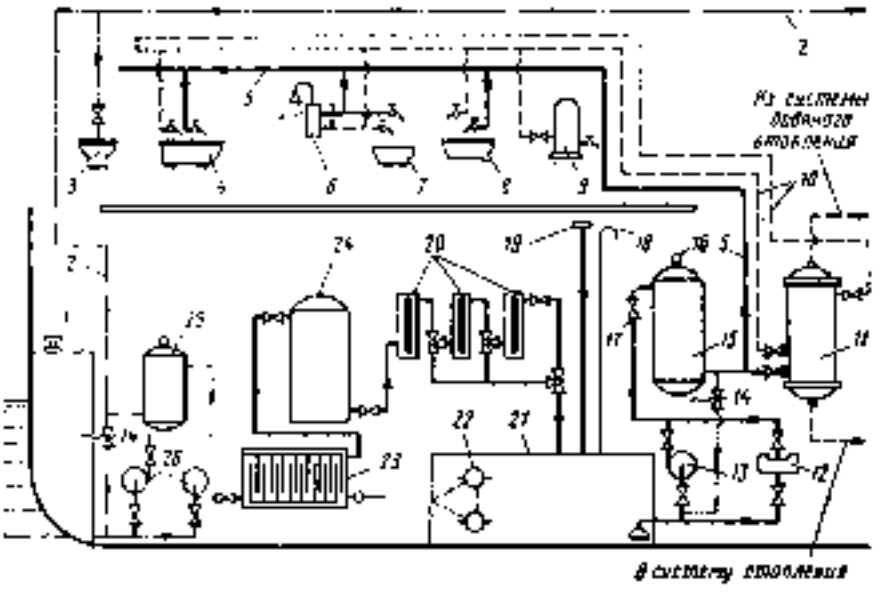


Рис. 127. Система водоснабжения судна:

1 — кингстон забортной воды; 2 — магистраль забортной воды; 3 — умывальник; 4 — ванное помещение; 5 — трубопровод холодной питьевой воды; 6 — душ; 7 — раковина; 8 — унитаз; 9 — писсуар; 10 — водонагреватель; 11 — ручной насос питьевой воды; 12 — санитарный насос, подающий воду в пневмоцистерну; 13 — предохранительный клапан; 14 — пневмоцистерна; 15 — реле давления насоса; 16 — дренажный клапан; 17 — труба для подачи воздуха; 18 — забортное устройство питьевой воды; 19 — бактерицидные лампы; 20 — цистерна для хранения питьевой воды; 21 — реле насоса питьевой воды; 22 — электролизер; 23 — песочный фильтр; 24 — электромагистраль забортной воды; 25 — клапаны забортной воды

тском используют расходные цистерны питьевой воды (водонапорные баки), которые размещают на гентовой палубе. В расходной цистерне устанавливают поплавковые реле, которые обеспечивают автоматическое включение и выключение подкачивающего насоса при предельных нижнем и верхнем уровнях воды.

На большинстве речных судов для автоматизации подачи воды к потребителям устанавливают специальные цистерны (гидрофоры). Гидрофор — герметический резервуар, в нижней части которого находится вода, а в верхней — сжатый воздух. Это позволяет сжатым воздухом вытеснять воду из цистерны в систему водоснабжения и подавать ее под определенным напором в любое помещение судна.

Забортная вода, поступающая в систему, предварительно пропускается через электролизер, очищается в песочном фильтре, обеззараживается путем облучения ультрафиолетовыми лучами, образуемыми специальными лампами. Очищенная и обеззараженная питьевая вода поступает в цистерну, откуда через пневмоцистерну питьевой воды подается к потребителям.

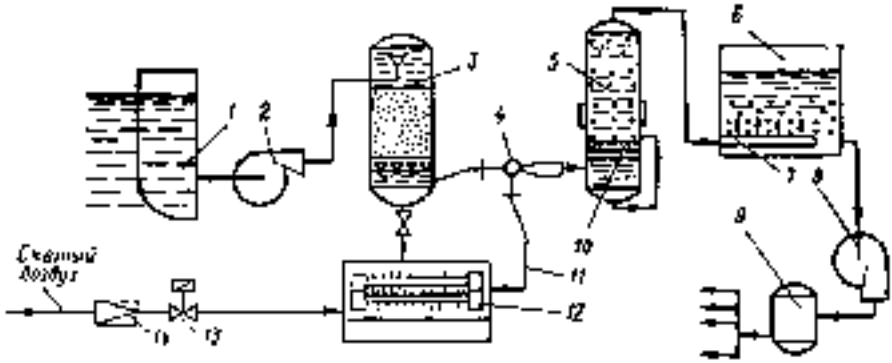


Рис. 128. Установка «Озон-0,5» для приготовления питьевой воды

1 — ящик забортной воды; *2* — электронасос; *3* — песочный фильтр; *4* — эжектор-смеситель; *5* — контактная колонка; *6* — накопительная цистерна; *7* — дренажный трубопровод; *8* — электронасос; *9* — пневмоцистерна; *10* — распылитель; *11* — трубопровод; *12* — озонаторный агрегат; *13, 14* — редукционный и электромагнитный клапаны

В данной системе водоснабжения, кроме системы питьевой воды, имеется система забортной воды с отдельной пневмоцистерной, в которую забортную воду подают специальным насосом непосредственно из ящика забортной воды.

В последнее время на судах широко распространены станции приготовления питьевой воды с использованием озонирования. Воду обрабатывают озоном, который уничтожает в ней как бактерии, так и вирусы. В озонаторной установке «Озон-0,5» производительностью 0,5 м³/ч (рис. 128) электронасос из ящика забортной воды подает воду в песочный фильтр. Очищенная от механических примесей вода поступает в эжектор-смеситель, где смешивается с озоно-воздушной смесью, поступающей по трубопроводу из озонаторного агрегата. Контактная колонка имеет керамический распылитель, и в ней озонированная вода вторично обрабатывается озоном. Из накопительной цистерны, снабженной дренажным трубопроводом, электронасосом питьевая вода подается в пневмоцистерну, а затем потребителям. Воздух в озонаторный агрегат поступает от судовой системы сжатого воздуха через редукционный и электромагнитный клапаны. Промышленность выпускает озонаторные станции производительностью 8; 4; 0,5 и 0,1 м³/ч.

Санитарные системы. К санитарным относятся системы фановая, очистки сточных вод и шлангатная.

Фановая система предназначена для удаления сточных вод из гальюнов, умывальных, душевых, бань и прачечных. Все суда, плавающие в бассейнах с установленными зонами санитарного режима, оборудованы закрытой фановой системой. При этом сточные воды отводятся в фекальные цистерны, из которых перекачиваются в емкости плавучих станций сбора фекальных и сточных вод. Самоходные плавучие станции передают принятые от транспортных судов хозяйст-

венные и бытовые сточные воды в городские канализационные сети. Кроме того, в пароходствах имеются суда комплексной переработки отходов (СКПО), на которых установлено оборудование, способное очищать принятые с транзитного флота сточные воды и утилизировать сухой мусор.

Крупные пассажирские суда имеют индивидуальные системы очистки фекальных и сточных вод.

Система очистки сточных вод — станция «Сток-150» производительностью очистки хозяйственно-бытовых вод 150 м³/сут. Станция состоит из сепараторов и фильтров для улавливания взвешенных частиц, а также озонаторного агрегата для обеззараживания очищенной воды. При этом достигается требуемая глубина очистки, а очищенные и обеззараженные сточные воды сбрасываются непосредственно за борт.

Для крупных грузовых судов внутреннего и смешанного плавания создана станция «Сток-10» производительностью очистки сточных вод 10 м³/сут.

Система шпигатов предназначена для удаления с палуб воды, скопившейся в результате смыва палубы или во время дождя. Воду удаляют по спускным оцинкованным трубам, приемные концы которых имеют шпигаты. Шпигаты устанавливают на самых низких участках палуб, что обеспечивает полное удаление воды, и снабжают сетками для защиты труб от засорения. Вода с палуб, расположенных выше ватерлинии, отводится непосредственно за борт. Если палуба расположена ниже ватерлинии, то вода по шпигатной системе самотеком стекает в льяла, откуда ее удаляют, используя осушительную систему.

87. ПОЖАРНЫЕ СИСТЕМЫ

С целью локализации тушения пожаров суда оборудуют пожарными системами. В зависимости от рода огнегасительного вещества их подразделяют на системы водо-, паро- и пенотушения, углекислотного и жидкостного пожаротушения.

По способу тушения пожара системы разделяют на поверхностные и объемные.

В системах *поверхностного тушения* на поверхность очага пожара подается вещество, которое охлаждает поверхность горения или прекращает доступ кислорода в зону горения. К ним относят системы водо- и паротушения.

В группу систем *объемного тушения* входят системы, заполняющие свободный объем помещения инертными газами или весьма легкой пеной.

Система водотушения основана на действии мощных струй воды, сбивающих пламя. Ею оборудуют все самоходные водоизмещающие суда независимо от наличия на них других средств тушения. Система

состоит из пожарных насосов, разводящего трубопровода с арматурой, пожарных рожков, шлангов и стволов. Пожарные насосы устанавливают в машинном отделении ниже ватерлинии с тем, чтобы обеспечить постоянный подпор при всасывании. При этом пожарный насос должен иметь возможность принимать воду не менее чем из двух мест. На крупных пассажирских судах устанавливают два пожарных насоса, а разводящий трубопровод изготовляют кольцевым. Для защиты трубопровода от замораживания его прокладывают, как правило, внутри отапливаемых помещений, а на открытые палубы выводят только патрубки с пожарными кранами. Количество и расположение пожарных кранов должны обеспечивать возможность одновременной подачи не менее двух струй воды в любую точку судна. Пожарные краны окрашивают в красный цвет, нумеруют и снабжают быстросъемными гайками для присоединения пожарных шлангов.

В грузовых танках при перевозке нефтепродуктов III класса (мазутов, дизельного топлива, тяжелых сортов топлива с температурой вспышки 46—120 °С) может быть установлена система тушения мелкораспыленной водой. При этом в пламени пода практически вся испаряется, создавая паровоздушную подушку, которая изолирует горящую поверхность от кислорода воздуха.

Распыленную воду применяют также в системах орошения палуб танкеров и для создания водяных завес, которые защищают помещения от распространения пожара.

На морских пассажирских судах применяют *спринклерную систему*, основанную на охлаждении горящей поверхности потоком капелек воды, подаваемых из распыляющих насадок (спринклеров). Входные отверстия спринклеров перекрыты клапанами, которые удерживаются стеклянными колбами. Внутри колбы находится низкокипящая жидкость. При температуре, превышающей допустимый предел, давление насыщенных паров разрушает стеклянную колбу, и клапан, выпадая, открывает выход воде из трубопровода.

Система паротушения основана на том, что пар, введенный в помещение, в котором возник пожар, снижает содержание кислорода в зоне горения. Рабочей средой в системе является насыщенный водяной пар давлением не более $8 \cdot 10^5$ Па. Системой паротушения оборудованы грузовые трюмы, малярные, кладовые для хранения легковоспламеняющихся материалов тех судов, где имеются паровые котлы достаточной производительности. На вновь строящихся речных судах система паротушения не применяется.

В системе пенотушения в качестве рабочей среды используют химическую или воздушно-механическую пену, которая изолирует горящую поверхность от кислорода воздуха. На речных судах для тушения пожаров, в том числе горящих нефтепродуктов, чаще всего применяют воздушно-механическую пену — механическую смесь воздуха с водой и пенообразователем типа ПО (ПО-1, ПО-6 и др.). Воздушно-механическая пена, полученная из пенообразователя ПО-6, имеет сле-

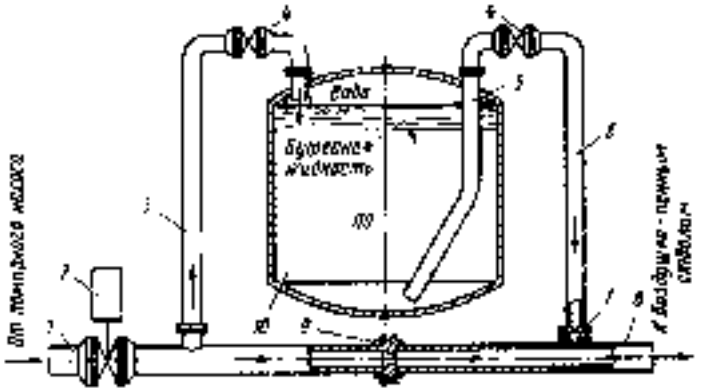


Рис. 129. Станция воздушно-механического пенотушения:
1, 3, 6, 8 — трубопроводы; *2* — задвижка; *4* — клапаны; *5* — сифонная труба; *7* — насадка; *9* — сопло; *10* — резервуар

дующий состав (%): воздух — 90, вода — 9,6, пенообразователь 0,4. На станции воздушно-механического пенотушения (рис. 129) пенообразователь находится в резервуаре. При открытии дистанционно управляемой задвижки вода по трубопроводу *1* системы водотушения через трубу *3* поступает в верхнюю часть резервуара с пенообразователем и вытесняет его по сифонной трубе в трубопровод *6*. Выйдя из этого трубопровода, пенообразователь смешивается с потоком воды, и образуется эмульсия. Необходимый состав смеси обеспечивается выбором площади сечения насадки, дозирующей подачу пенообразователя, и сопла, дозирующего подачу воды. Клапаны всегда открыты. Полученная эмульсия (водный раствор пенообразователя) по магистральному трубопроводу *8* подается к стационарным или переносным воздушно-пенным стволам, где смешивается с засасываемым воздухом, образуя пену, которая поступает непосредственно в охраняемое помещение. Чтобы исключить смешивание пенообразователя с водой, в резервуаре между ними помещают слой буферной жидкости малой плотностью.

Систему пенотушения на речном флоте широко применяют для охраны помещений машинных отделений и топливных цистерн водоизмещающих судов, грузовых отсеков танкеров, складовых хранения легковоспламеняющихся материалов. Согласно Правилам Речного Регистра РСФСР расчетную пенопроизводительность воздушно-пенного генератора для грузовых отсеков танкеров вычисляют из условия покрытия пеной площади двух наибольших отсеков.

Систему дренчерного пожаротушения применяют для тушения пожаров в помещениях генераторов и главных электрораспределительных щитов, а также в машинных отделениях и топливных цистернах

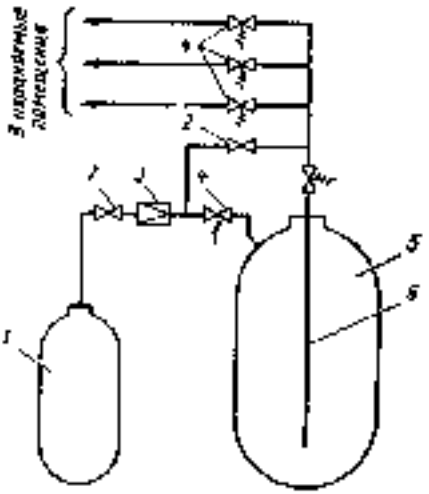


Рис. 130. Станция жидкостного пожаротушения:

1 — баллон сжатого воздуха; 2 — ручной клапан; 3 — редукционный клапан; 4 — электромагнитные задвижки; 5 — баллон с огнегасящей жидкостью; 6 — сифонная труба

вместо системы пенотушения без порчи груза и оборудования. При этом охраняемое помещение заполняется углекислым газом.

Станция углекислотного тушения состоит из баллонов с обезвоженной углекислотой, трубопроводов, приборов управления. На судне обезвоженную углекислоту хранят в стальных баллонах вместимостью 40 л.

В стационарных системах углекислотного тушения баллоны объединяют в батарею, которые соединяют с коллектором. От коллектора к охраняемое помещение идут трубопроводы, которые выполняют из стальных труб с антикоррозионным покрытием изнутри.

Системой жидкостного пожаротушения предусмотрена подача в охраняемое помещение быстроиспаряющейся огнегасящей жидкости, пары которой вытесняют воздух из помещений. Система широко распространена как на водоизмещающих судах, так и на СПК. В качестве огнегасящей жидкости на СПК применяют состав 3,5 — смесь бромистого этила с углекислотой; на водоизмещающих судах применяют смесь БФ-2.

Огнегасящую жидкость размещают в специальных баллонах (рис. 130). При возникновении пожара воздух под давлением подается в баллон с жидкостью и вытесняет ее в раздаточную магистраль. Из магистрали огнегасящая жидкость поступает в распылители, установленные в охраняемом помещении, где и распыляется.

Система жидкостного пожаротушения — весьма эффективное средство тушения пожаров в машинных отделениях, но, применяя ее, следует помнить, что газы, получаемые при испарении жидкости, вредны для здоровья людей.

К средствам, служащим для ликвидации пожара, относят переносные ручные огнетушители — пенные и углекислотные, а также пожарный инвентарь (ломы, топоры, ковши, песок и др.).

38. СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО МИКРОКЛИМАТА

Общие сведения. Системы искусственного микроклимата предназначены для создания необходимых температурных и физико-химических параметров воздуха в жилых и служебных судовых помещениях,

обеспечивая наилучшие условия жизни и работы людей, а также хранения на судне продуктов питания и грузов.

Для создания необходимого микроклимата служат системы отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и охлаждения.

Системы отопления. Водяные, паровые, воздушные системы отопления служат для поддержания определенной положительной температуры в судовых помещениях в холодное время года.

В *системе водяного отопления* теплоносителем является вода, нагретая до температуры 80—90° С, которая циркулирует по трубопроводам и через нагревательные приборы (грелки) отдает теплоту окружающему воздуху. Циркуляция воды в системе может быть естественной и принудительной. В первом случае охлажденная в системе вода вытесняет из водогрейного котла горячую воду, которая поднимается в расширительный бак и оттуда растекается по системе. Во втором случае горячая вода прокачивается через систему циркуляционным насосом.

Система водяного отопления благодаря большой аккумуляции теплоты создает устойчивый тепловой режим в помещениях, проста в изготовлении и эксплуатации, безопасна в пожарном отношении, однако элементы ее имеют большую массу.

К основным узлам системы водяного отопления относится водогрейный котел, трубопровод, грелки, циркуляционный насос и расширительный бак. Водогрейный котел служит для снабжения системы отопления горячей водой. Горячую воду получают также в утилизационных котлах, использующих теплоту отработавших газов главных двигателей, на пароходах — в паровых водонагревателях. Иногда горячую воду берут из замкнутой системы охлаждения двигателя.

На водоизмещающих судах трубопровод водяного отопления изготовляют из стальных водогазопроводных труб, на СПК и СВП — из алюминиевого сплава.

Система водяного отопления может быть однотрубной, когда горячая и отработавшая вода циркулирует по одному трубопроводу, и двухтрубной, когда горячая вода подводится по одному трубопроводу, а отработавшая — отводится по другому трубопроводу. Диаметр труб определяется расчетом из условия заданной скорости движения воды в системе.

Системой парового отопления разрешается оборудовать только хозяйственные и бытовые судовые помещения. В качестве теплоносителя используют сухой насыщенный пар температурой 120—130 °С и давлением $3 \cdot 10^5$ Па, получаемый в паровых котлах. Пар, проходя через грелки, отдает свою теплоту воздуху и конденсируется. При паровом отоплении судовых помещений обеспечивается их более быстрый обогрев по сравнению с водяным отоплением. Однако пригорание пыли на грелках вследствие высокой температуры пара и создаваемый при

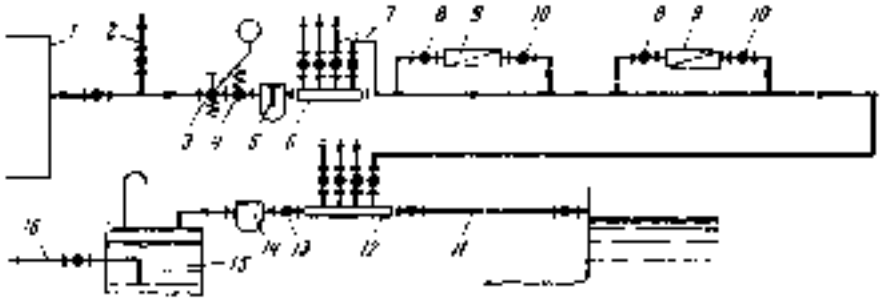


Рис. 134. Однопроводная система парового отопления:

1 — паровой котел; 2, 13, 16 — трубопроводы; 3, 4 — редукционный и предохранительный клапаны; 5 — сепаратор; 6 — распределительная коробка; 7 — отопительная магистраль; 8, 10, 15 — клапаны; 9 — грелки; 12 — конденсатная коробка; 14 — конденсатоотводчик; 16 — теплый ящик

работе шум ограничивают применение на судах системы парового отопления.

Основным элементом системы (рис. 131) является паровой котел. Пар из котла по трубопроводу *2* через редукционный и предохранительный клапаны поступает в сепаратор, где происходит его осушение. Редукционный клапан снижает давление пара, поступившего из котла, до рабочего значения. Предохранительный клапан предотвращает повышение давления пара более допустимого в случае выхода из строя редукционного клапана. Излишки пара при повышении давления стравливаются из системы через предохранительный клапан в атмосферу или в теплый ящик, предназначенный для сбора конденсата. Осушенный пар пропускается в распределительную коробку, откуда распределяется по трубопроводам отопительной магистрали.

Пар, поступивший в грелки, частично конденсируется, и смесь его с конденсатом через конденсатную коробку и далее через клапан *13* поступает в конденсатоотводчик и отводится в теплый ящик. Поступление пара в грелки регулируется клапанами *8*, а выход пара из грелки — клапанами *10*. Для отвода пара за борт служит трубопровод *11*.

Рассмотренная система парового отопления, выполненная по однопроводной схеме, по массе на 25—30% легче двухпроводных. Однако нагревательная способность грелок при первой схеме значительно ниже, чем при двухпроводной, вследствие увлажнения пара движущимся вместе с ним конденсатом.

Трубопровод парового отопления выполняют из бесшовных стальных труб, арматура может быть стальной или бронзовой.

В *системе воздушного отопления* теплоносителем является воздух, который подается в обогреваемое помещение предварительно подогретым примерно до 40 °С в специальных теплообменных аппаратах, называемых калориферами.

Система воздушного отопления может быть без рециркуляции и с циркуляцией воздуха. В первом случае системы воздушного отопления и вентиляции совмещены и в помещение поступает свежий подогретый воздух. Во втором случае осуществляется внутренняя циркуляция воздуха обогреваемого помещения через воздухоподогреватель. Последняя система более экономична.

В воздухоподогревателях воздух подогревается горячей водой, паром или электричеством. Свежий воздух через вентиляционные головки нагнетается электровентилятором в воздухоподогреватель, по трубам которого циркулирует пар или горячая вода. Нагретый воздух через воздухораспределитель по трубопроводам подводится к каюты. Поступление в обогреваемое помещение подогретого воздуха регулируется при помощи шиберов (заслонок), установленных на приемных воздухопроводах.

В некоторых системах воздушного отопления окончательный подогрев воздуха может осуществляться калориферами, установленными непосредственно в обогреваемом помещении. Регулируют отопление посредством регулировочного клапана, ограничивающего поток горячей воды через калорифер.

Системы вентиляции. Вентиляция необходима для постоянной или периодической смены воздуха в судовых помещениях. Судовую вентиляцию разделяют на искусственную и естественную. В некоторых судовых помещениях может быть применена одновременно естественная и искусственная вентиляция, называемая смешанной.

При *искусственной вентиляции* смена воздуха в помещениях осуществляется с помощью вентиляторов, а *при естественной* — благодаря разности плотностей теплого и холодного воздуха или использования ветрового напора, образуемого при движении судна.

По характеру действия судовая вентиляция бывает трех видов: приточная, вытяжная и комбинированная (приточно-вытяжная). При приточной вентиляции в помещение подается свежий воздух через приточный вентиляционный канал. В результате в помещении создается некоторый подпор воздуха, что обеспечивает выход из помещения загрязненного воздуха через вытяжной канал.

Приточная вентиляция может работать благодаря разности температур наружного воздуха и в помещении. Если в помещении установить два вентиляционных канала (внизу - приточный, наверху — вытяжной), то вентиляция будет работать до тех пор, пока сохранится разница температур наружного и внутреннего воздуха.

При *вытяжной вентиляции* загрязненный воздух отсасывается вентиляторами, при этом создается разрежение, вследствие чего в помещение поступает свежий воздух.

Комбинированную вентиляцию (рис. 132) применяют в помещениях, где необходим многократный обмен воздуха, например, в машинном отделении. Приток свежего воздуха обеспечивается через вентиляционную решетку и вдувным центробежным вентилятором. Вытяжка

воздуха из машинного отделения к помещения дизель-генератора осуществляется осевыми вентиляторами, естественная вытяжка воздуха из машинного отделения — через вентиляционные отверстия фальшструбы. Свежий воздух в помещение дизель-генератора поступает через приточные каналы.

Общесудовой вентиляцией оборудуют жилые, служебные и бытовые помещения. Подача свежего воздуха в каюты осуществляется через магистральные вентиляционные каналы, проложенные в коридорах. Выход воздуха из кают происходит через дверные решетки (жалюзи). Вентиляционные каналы выполняют из тонколистовой оцинкованной стали обычно прямоугольного сечения.

Система кондиционирования воздуха. Система служит для создания наилучших условий обитаемости в жилых и служебных помещениях в любое время года благодаря подаче в них воздуха, параметры которого отвечают требованиям комфорта. На некоторых речных пассажирских судах («Максим Горький», «Советская Россия» и др.) системы вентиляции и отопления заменяет система кондиционирования воздуха, в которой происходит комплексная обработка наружного воздуха — очистка, осушение или увлажнение, подогрев или охлаждение. В теплые месяцы навигации воздух охлаждают и осушают, а в холодные — нагревают и увлажняют. Комфортными параметрами воздуха в жилых помещениях считаются температура 22—24 °С, относительная влажность 50—60%.

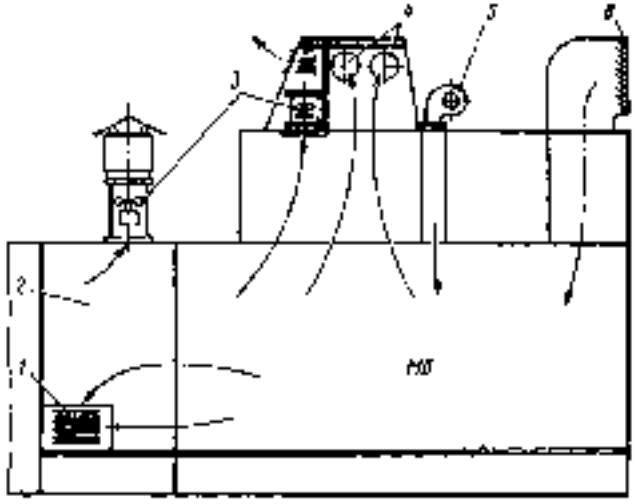


Рис. 132. Схема вентиляции машинного отделения:

1 — приточные каналы; 2 — дизель-генераторная выгородка; 3 — осевые вентиляторы; 4 — вентиляционные отверстия; 5 — центробежный вентилятор; 6 — вентиляционная решетка

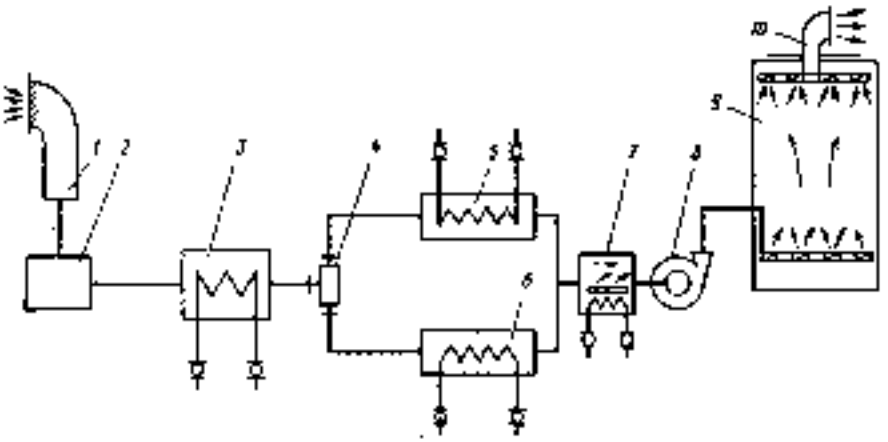


Рис. 133. Система кондиционирования воздуха:
1 — приточный дефлектор; 2 — фильтр; 3 — осушитель; 4 — трехходовой кран; 5, 6 — калориферы; 7 — увлажнитель; 8 — вентилятор; 9 — судовое помещение; 10 — вытяжное устройство

Работает система следующим образом (рис. 133). Наружный воздух через приточный дефлектор поступает в фильтр, где очищается от пыли и капель воды. Затем в осушителе воздух освобождается от излишней влаги. В холодное время года осушенный воздух через трехходовой кран направляется в калорифер, где подогревается до необходимой температуры горячей водой, паром или электричеством.

В жаркое время года воздух в калорифере охлаждают до требуемой температуры забортной водой или при помощи специальной рефрижераторной установки.

После нагрева воздух поступает в увлажнитель, где насыщается влагой до заданных пределов, а затем вентилятором нагнетается в судовое помещение. Отработанный воздух из помещения отсасывается через вытяжное устройство.

Системы охлаждения. Система предназначена для создания в судовых помещениях, в которых хранятся скоропортящиеся продукты, низких температур. Для эффективного охлаждения провизионных камер крупных пассажирских судов, а также грузовых трюмов рефрижераторов применяют специальные холодильные установки, вырабатывающие холод. В помещении, где необходимо охладить воздух, устанавливают батареи, к которым подводится хладагент.

Применяемые на судах системы охлаждения подразделяют на следующие: непосредственного охлаждения, рассольную, воздушную и смешанную.

При *системе непосредственного охлаждения* холодильные батареи, установленные в охлаждаемом помещении, одновременно являются испарителями. Хладагент в холодильных батареях испаряется и при

этом отбирает теплоту от окружающего воздуха помещения. В качестве хладагента в судовых холодильных установках используют фреон или аммиак, имеющие низкие температуры кипения.

Система с непосредственным охлаждением проста по устройству, имеет малую массу холодильной установки, однако возможна утечка хладагента в камеры и трюмы с продуктами.

В *рассольной системе* рассол (обычно раствор солей кальция) охлаждается в испарителе кипящим хладагентом и подается насосом в батареи, установленные в охлаждаемом помещении.

В *системах воздушного охлаждения* в трюм подается вентилятором охлажденный в специальных воздухоохладителях воздух. Обмен воздуха позволяет понижать в помещении температуру.

При *смешанной системе охлаждения* в охлаждаемом помещении устанавливают рассольные батареи и подводят каналы для подачи охлажденного воздуха.

89. СПЕЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ТАНКЕРОВ

Для обеспечения приема и выкачивания нефтепродуктов, очистки танков от остатка груза нефтеналивные суда оборудуют специальными системами: грузовой, зачистной, газоотводной, подогрева вязких нефтепродуктов и мойки грузовых танков. К этим системам предъявляют повышенные требования в отношении пожарной безопасности и устранения возможного загрязнения водоемов нефтепродуктами.

Грузовая и зачистная системы танкера служат для приема, распределения по танкам, выгрузки и удаления остатков нефтепродуктов. На танкере грузоподъемностью 5000 т груз размещается в 12 танках восьми средних и четырех бортовых (рис. 134).

Прием нефтепродуктов осуществляется из береговых емкостей самотеком по приемному трубопроводу *14*. При этом береговой трубопровод соединяют с судовым приемным трубопроводом гибкими шлангами.

Выкачивают груз грузовыми насосами *1* из танков *VII* и *VIII* через раздаточный трубопровод *13*, расположенный на палубе. Грузовые насосы могут быть включены в систему как параллельно, так и последовательно. При параллельной работе насосов должны быть открыты клинкеты *6*, *9*, *11* и *12*, а при последовательной — клинкеты *6*, *3* : *12* или *9*, *5* и *11*. Между приемными трубами грузовых насосов установлена перемычка с разобщительным клинкетом *4*.

Остатки грузов из танков откачивают зачистным поршневым насосом *2*. При его работе клинкеты *7*, *8* и *10* открываются. Для сбора остатков нефтепродуктов в кормовой части танков *VII* и *VIII* делают специальные колодцы, в которых устанавливают приемники зачистной системы.

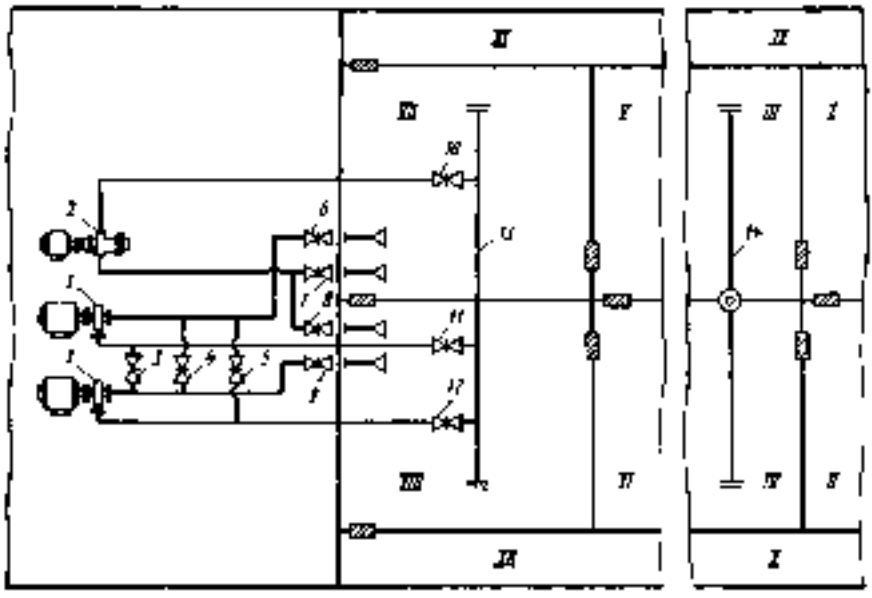


Рис. 134. Грузовая и зачистная клинкетные системы танкера:
I—XII — танки; *1, 2* — грузовой и зачистной насосы; *3—13* — клинкеты; *14, 15* — трубопроводы

Насосное отделение расположено за поперечной кормовой переборкой. Электродвигатели грузовых и зачистных насосов в целях пожарной безопасности вынесены в машинное отделение и отделены от насосов газонепроницаемой переборкой.

Газоотводная система предназначена для удаления паров нефтепродуктов из грузовых танков в атмосферу и исключает создание в танках как избыточного давления, так и разрежения. Газоотводные трубы выходят из наивысших точек каждого танка. Выходной конец этих труб оборудуют огневыми предохранителями, которые препятствуют распространению огня из танка при пожаре. На газоотводных трубах, выведенных из танков, устанавливают так называемые дыхательные клапаны, через которые пары нефтепродуктов стравливаются в атмосферу. Наличие дыхательных клапанов уменьшает испарение нефтепродуктов и тем самым способствует их сохранению. Во время перегрузочных операций дыхательные клапаны закрывают.

Система подогрева вязких нефтепродуктов предназначена для снижения вязкости тяжелых нефтепродуктов и обеспечения их выкачивания из танков грузовыми насосами. На речных танкерах распространены змеевиковые подогреватели (рис. 135). В нижней части грузовых танков устанавливают змеевики системы подогрева, изготовленные из стальных бесшовных труб. К змеевикам от котла подводится

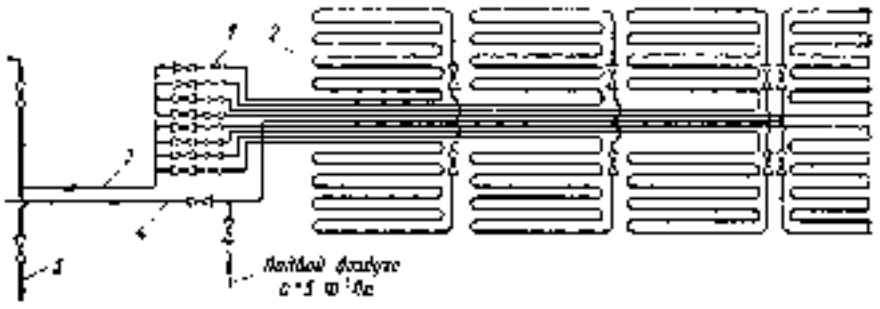


Рис. 185. Система парового подогрева танкера:

1 — конденсатоотводчик; 2 — змеевики; 3, 5 — трубопроводы отвода конденсата в теплый ящик и за борт; 4 — трубопровод подачи пара от котла

лар. Образующийся конденсат отводится в теплый ящик. При установке змеевиков подогревателя предусмотрены свободный сток конденсата, а также полное его удаление при неработающем подогревателе. Для обеспечения устойчивой работы системы подогрева предусмотрено также периодическое удаление конденсата из труб путем продувания их сжатым воздухом. Продувание каждого танка ведется в отдельности, поэтому все змеевики имеют разобщительные клапаны.

Система мойки грузовых танков служит для удаления остатка нефтепродуктов, прилипших к набору и обшивке внутри танков. Необходимость такой очистки возникает при смене сорта перевозимых нефтепродуктов (при смене сорта на более светлый), а также перед ремонтными работами.

Все работы по зачистке и мойке речных танкеров выполняют плавучие зачистные станции. В качестве моющих средств применяют растворители и эмульсии. На танкерах имеются палубные горловины диаметром 350—400 мм для ввода в танки специальных моечных машин.

Для удаления ржавчины и грязи на днище после промывки танка плавучие станции имеют пневмотранспортерную установку. Она представляет собой пароструйный эжектор с приемными шлангами, через наконечники которых засасываются остатки ржавчины и грязи. Однако технология зачистки танкеров пока несовершенна и трудоемка, что приводит к значительным простоям судов.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите общесудовые и специальные системы.
2. Где применяют штуцерно-торцовые соединения?
3. Как по назначению подразделяют судовую трубопроводную арматуру?
4. Для каких целей предназначена балластная система?
5. Какую роль в системах водоподготовки играют озонаторные станции типа «Озон»?
6. Какие средства пожаротушения имеются на судах при горении нефтепродуктов?

7. Поясните принцип действия системы кондиционирования воздуха.
8. Назовите специальные системы танкера.
9. Поясните роль газоотводной системы танкера.

Глава XV

ОЧИСТКА СТОЧНЫХ И НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД

90. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОХРАНЫ ВОДНЫХ БАССЕЙНОВ

При эксплуатации судна образуются загрязнения в основном трех видов: нефтесодержащие (подсланевые и льяльные) воды, сточные (мытьевые, фекальные, хозяйственно-бытовые) воды, сухой мусор и пищевые отходы. Сброс судовых загрязнений в открытые водоемы наносит невосполнимый ущерб природе. В связи с этим судовладельцы осуществляют крупные мероприятия по сбору и утилизации загрязнений всех видов, образующихся на судах в процессе эксплуатации.

Большое количество загрязнений накапливается на крупных пассажирских судах, поэтому уже в 60-е годы Минречфлотом РСФСР была введена схема сбора сточных вод и сухого мусора с судов теплоходами-сборщиками пр. 354 с последующей передачей на специализированные причалы.

В крупных портах, где одновременно скапливается большое число судов, суда-сборщики и специальные причалы не в состоянии справиться с приемкой сточных вод. В этом случае применяют самоходные и несамоходные суда комплексной переработки отходов, принимающие и обрабатывающие загрязнения всех видов.

Крупные транспортные суда и пассажирские теплоходы оснащают автономными водоохранными установками, обеспечивающими необходимую для сброса в водоем глубину очистки и степень обеззараживания сточных и нефтесодержащих вод.

В соответствии с требованиями контролирующих органов глубина очистки и обеззараживания сточных вод определяется следующими параметрами:

$БПК_4$ (содержание кислорода в воде не менее 5 сут)	50 мг/л
Взвешенные вещества	50 мг/л
Коли-индекс (содержание в воде кишечных палочек)	1000
Остаточный хлор	1,5 мг/л

В настоящее время для пассажирских судов серийно выпускают станции для очистки и обеззараживания сточных вод «Сток-150» и «Сток-10» максимальной производительностью соответственно 150 и 10 м³/сут, а также установки для очистки нефтесодержащих вод производительностью 1—20 м³/сут.

На речных судах практически полностью решена проблема, связанная с предотвращением загрязнения водных бассейнов нефтепро-

Таблица 11

Инсинератор	Потребляемая мощность, кВт	Производительность по отходам, кг/ч		Масса, кг	Номер проекта судна
		твердым	шламу		
OG-200 (Норвегия)	9	60	45	2000	P1191
GS-500 (Норвегия)	14	135	110	4300	Ку-065
SAVA75/50 (Германия)	15	75	50		302
VTV-10 (Япония)	1,9	10	15	400	P1405
СП-10 (СССР «Ленинская кузница»)	1,5	10	—	1400	19610
СП-50 (СССР «Ленинская кузница»)	16	50	50	1600	—

дуктами, содержащимися в подсланцевых водах машинных отделений. Для сбора нефтесодержащих вод используют самоходные суда-сборщики, а также баржи-амбары. Собранные нефтесодержащие воды очищают на специальных плавучих станциях. Полученные вторичные нефтепродукты сдают на береговые нефтебазы для последующей переработки.

Глубина очистки нефтесодержащих вод на специальных станциях должна быть не более 5 мг/л, а на автономных судовых установках — не более 10 мг/л.

Бункеровка самоходных судов с топливом и маслом производится только закрытым способом через унифицированные присоединительные устройства, исключающие утечку нефтепродуктов.

Сухой мусор и твердые пищевые отходы собирают в унифицированные контейнеры, которые сдают на специальные причалы, откуда вывозят на свалки или в места для сжигания.

Крупные пассажирские суда оборудованы печами-инсинераторами. В табл. 11 приведены характеристики используемых на речных судах инсинераторов. Из таблицы видно, что они значительно различаются как по размерам и производительности, так и по потребляемой мощности. Инсинераторы выпускают одно- и двухкамерные, в них могут сжигаться сухой мусор, твердые отходы и жидкий шлам.

91. СУДОВЫЕ СТАНЦИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

Станция «Сток-150 (рис. 136) представляет собой агрегат, скомпонованный из трех блоков. Оборудование в каждом блоке смонтировано на отдельной раме.

Обработка сточных вод осуществляется следующим образом. Из судовой сборной цистерны сточная вода подается на фильтр грубой очистки. Здесь отделяются крупные загрязнения, которые потоком сточной воды отводятся назад в судовую сборную цистерну. Из фильтра

грубой очистки вода поступает в приемный танк, откуда насосом *8* подается в смеситель *12*, где перемешивается с воздухом, поступающим из судовой магистрали сжатого воздуха. Для обеспечения необходимого контакта воздуха и сточной воды при повышенном давлении служит напорный танк. Из этого танка насыщенная воздухом сточная вода поступает в смеситель *11*, где смешивается с коагулянтом (сернокислым алюминием), подаваемым из расходного бака насосом-дозатором.

В флотационном танке из сточной воды отделяются загрязнения и всплывают на поверхность воды, образуя слой пены. Накопившиеся на поверхности загрязнения скребковым транспортером удаляются в шламовый танк, откуда по мере накопления шлам насосом *9* сбрасывается в судовую шламовую цистерну.

Из флотационного танка вода насосом *14* через эжектор подается на окончательную очистку в напорный фильтр. Основная часть воды из фильтра насосом *17* подается на обеззараживание в контактные (смесительные) устройства, откуда очищенная и обеззараженная вода сливается за борт.

Процессы очистки и обеззараживания сточной воды станции «Стох-150» автоматизированы, за исключением операций по удалению шлама и периодических промывок напорного фильтра. Для промывки фильтра предусмотрена специальная система с подачей забортной воды в судовую сборную цистерну.

Одним из важных элементов обслуживания станции является подготовка раствора коагулянта необходимой концентрации. Обычно

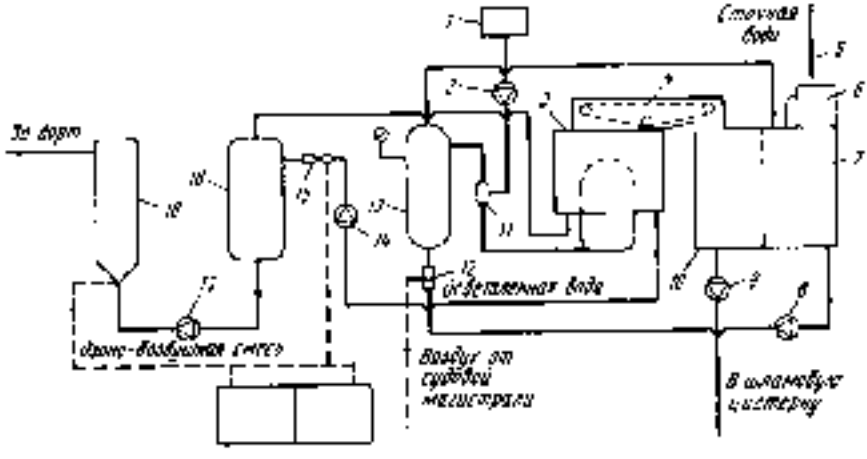


Рис. 136. Станция очистки сточных вод «Стох-150»

1 — расходный бак; *2* — насос-дозатор; *3, 7, 10, 13* — соответственно флотационный, шламовый приемный и напорный танки; *4* — скребковый транспортер; *5* — трубопровод сточной воды; *6* — фильтр грубой очистки; *8, 9, 14, 17* — насосы; *11, 12* — смесители; *15* — эжектор; *16* — напорный фильтр; *18* — контактное (смесительное) устройство

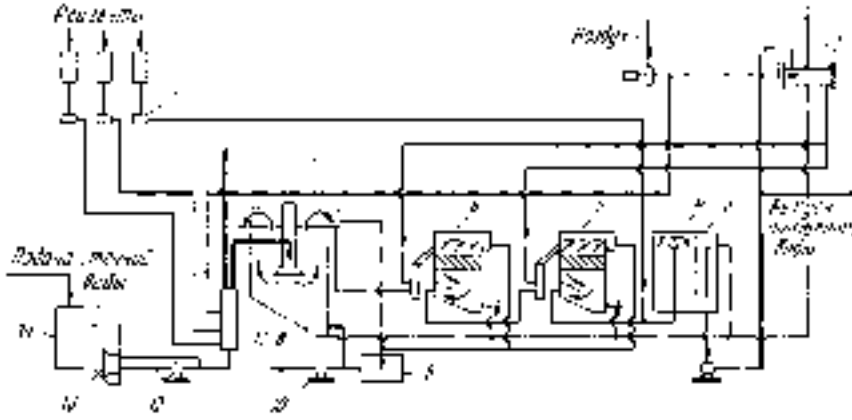


Рис. 137. Станция очистки сточных вод «Сток-10»:

1 — насосы дозаторы; *2, 4* — регенераторы; *3* — сливные отстойники резервуаров; *5, 6* — камеры флотации; *7* — камеры пенослива; *8, 9* — шламосборники; *10, 12* — насосы; *11* — смеситель; *13* — решетки; *14* — цистерны

используют 10—15%-ный раствор сернокислого алюминия, для приготовления которого 5—10 кг сухого вещества разводят 25—30 л воды.

Емкость для приготовления раствора должна быть пластмассовой или из нержавеющей стали, так как сернокислый алюминий относится к агрессивным веществам. Ускорить процесс приготовления раствора можно путем применения теплой воды. Обычная доза сернокислого алюминия при подаче на обработку сточной воды составляет примерно 150 мг/л, среднесуточный его расход 15 кг.

Правильную дозу коагулянта можно определить визуально, для чего в прозрачную бутылку наливают сточную воду из специального пробоотборного крана на трубопроводе, соединяющем напорный и флотационный танки. При правильном дозировании в бутылке примерно через 15 с появляются хлопья (укрупненные частицы загрязнений), и через 2—3 мин на поверхности образуется слой всплывших загрязнений. При неправильном дозировании подобной реакции не происходит, и в этом случае необходимо отрегулировать подачу насоса-дозатора.

При эксплуатации станции «Сток-150» важно также обеспечивать необходимые параметры работы генератора озона, от которых зависит надежность обеззараживания сточных вод.

На грузовых судах смешанного плавания с численностью экипажа до 25 чел. для очистки сточных вод применяют установку «Сток-10» производительностью 10 м³/сут (рис. 137).

Накопление сточных вод происходит в цистерне, из которой насосом *12* сточная вода подается через решетку в смеситель, куда при помощи насосов-дозаторов подаются также растворы сернокислого алю-

минич и полиакриламида. Процесс перемешивания сточной воды с реагентами интенсифицируется путем подачи в смеситель сжатого воздуха. Из смесителя сточная вода направляется в камеру отстойника. Здесь происходит образование хлопьев и задержанных на их поверхности загрязнений, которые осаждаются в нижней части отстойника и периодически с помощью насоса *10* их удаляют в судовую шламовую цистерну.

Из отстойника сточная вода направляется самотеком на доочистку в камеры флотации. Перед камерами подаваемая на очистку вода смешивается со специально приготовленной в напорном резервуаре *2* газонасыщенной жидкостью. Смешение двух потоков приводит к образованию в сточной воде пузырьков воздуха, которые при столкновении с частицами загрязнений образуют так называемые флотокомплексы, всплывающие на поверхность в виде пены. При помощи скребков пена удаляется с поверхности воды в шламосборник. Пройдя процесс очистки флотацией, вода самотеком поступает в контактный резервуар *4*.

Обеззараживание производится раствором гипохлорита натрия, подаваемого насосом-дозатором в трубопровод перед входом в контактный резервуар. После 30-минутной выдержки очищенная и обеззараженная вода сливается за борт.

На судах иностранной постройки для очистки сточных вод применяют установки типа «Карса» (Германия) и «Уплекс-Био» (Финляндия), принцип действия которых основан на биохимических процессах, сопровождающих жизнедеятельность определенных видов микроорганизмов (активный ил) в загрязненных сточных водах.

В активном иле содержатся различные бактерии, плесневые и дрожжевые грибы, а также микроскопические организмы, которые в природе питаются разнообразными веществами, содержащимися в загрязненной воде.

Процесс извлечения из сточной воды загрязнений в естественных условиях идет довольно медленно.

Особенность процессов, происходящих в биохимических установках, заключается в том, что в них специальными искусственными приемами поддерживается такой заданный объем жизнеспособных микроорганизмов, при котором обрабатывается соответствующий объем загрязнений за минимально возможное время.

Эффективность работы судовых биохимических установок во многом зависит от условий их эксплуатации. При неправильной или бесконтрольной эксплуатации нарушается биохимический процесс, довольно чувствительный к внешним воздействиям, а это приводит к ухудшению результатов очистки и очень часто к гибели микроорганизмов.

92. УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ПОДСЛАНЕВЫХ ВОД

Нефтесодержащие подсланевые воды очищают от нефтепродуктов на судовой станции ОПВ-0,2 производительностью 0,2 м³/ч. Станция обеспечивает глубину очистки нефтесодержащих вод не более 10 мг/л нефтепродуктов, что отвечает требованиям Санитарных правил для судов внутреннего плавания СССР. Следовательно, ее можно применять на судах внутреннего и смешанного река — море плавания.

В технологической схеме станции ОПВ-0,2 предусмотрен фильтр грубой очистки, работа которого основана на коалесцировании нефтепродуктов в слое литейного каменноугольного кокса. Нефтепродукты, задержанные в фильтре, удаляются путем подачи в фильтр забортной воды. При этом нефтепродукты вытесняются водой через невозвратный клапан в специальную цистерну.

Из фильтра грубой очистки вода поступает во флотатор. Флотация осуществляется озоно-воздушной смесью, вследствие чего происходит поверхностное окисление оставшейся в воде части нефтепродуктов небольшими дозами озона. Окисленные нефтепродукты теряют способность к прилипанию и задерживаются обычным песчаным фильтром. Последний представляет собой цилиндрическую емкость, загруженную песком крупностью 0,3—0,5 мм. Из песчаного фильтра очищенная вода сливается за борт.

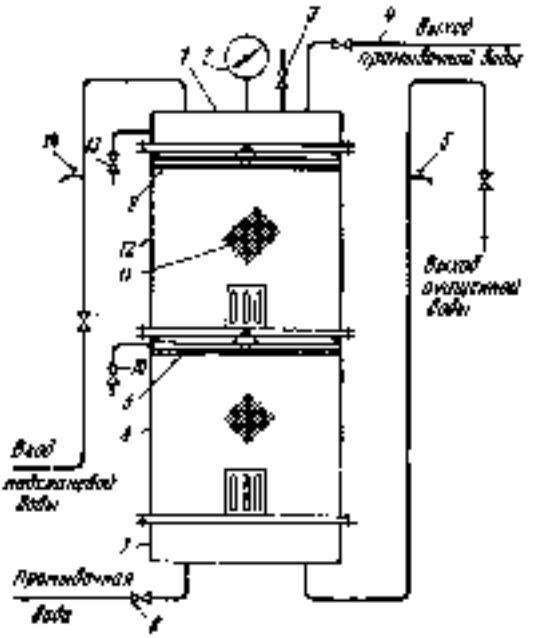


Рис. 138. Фильтр тонкой очистки нефтесодержащих подсланевых вод:

1, 2 — верхняя и нижняя крышки; *3* — манометр; *4, 10, 13* — вентили; *5, 6* — сливной и приемный патрубки; *7, 14* — клапаны; *8, 12* — нижняя и верхняя обечайки; *9* — сетчатые перегородки; *11* — адсорбент

При плавании судна в водоемах, имеющих рыбохозяйственное значение, глубина очистки подсланевой воды от нефтепродуктов требуется 5 мг/л. В связи с этим дополнительно к установке ОПВ-0,2 на судах применяют фильтр тонкой очистки типа ФТО-1.

Фильтр тонкой очистки (рис. 138) предназначен для разделения мелкодисперсных нефтеводяных эмульсий. Он состоит из верхней и нижней кры-

шек к двух (верхней и нижней) взаимозаменяемых обечаек с фланцами. В обечайках установлены поддерживающие сетчатые перегородки, под которыми находится фильтрующий материал — адсорбент. В качестве фильтрующего материала используют активированный уголь или размельченную до гранул 0,5—1,0 мм теплоизоляционную плиту ФС-7-2. Фильтр заполняют гранулами из расчета 160—170 г сухого материала на 1 л полезного объема фильтра. Для слива отстоя нефтепродуктов перед промывкой предусмотрены вентили *10* и *13*, а для стравливания воздуха — вентиль *3*. Краны *5* и *14* предназначены для отбора проб воды на входе в фильтр и выходе из него. Для контроля измерения гидравлического сопротивления фильтрующего материала в процессе эксплуатации предусмотрен манометр. Промывка фильтра осуществляется снизу вверх через приемный и сливной патрубки.

При прохождении очищаемой воды через слой фильтрующего материала эмульгированные частицы нефтепродуктов оседают в порах гранул.

При достижении в фильтре гидравлического сопротивления 0,25 МПа верхнюю обечайку заменяют фильтрующий материал и ее устанавливают в нижнюю часть фильтра. Нижнюю обечайку без замены фильтрующего материала устанавливают в верхнюю часть фильтра. Полностью фильтрующий материал заменяют при увеличении концентрации нефтепродуктов в очищенной воде на выходе из фильтра более 10 мг/л.

Применение фильтра ФТО-1 как второй ступени очистки подсланевых вод от нефтепродуктов наряду со станцией ОНВ-0,2 и сепараторами других типов позволяет обеспечивать чистоту водных бассейнов

93. СТАНЦИЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ И НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ВОД ОСНВ 10/4

Станция ОСНВ 10/4 предназначена для очистки и обеззараживания сточных и нефтесодержащих вод на речных грузовых судах, судах технического флота с численностью экипажа до 30 чел. Производительность станции 10 м³/сут сточных и 4 м³/сут нефтесодержащих вод.

Станция состоит из блока очистки сточных вод, блока очистки нефтесодержащих вод, озонаторного агрегата, фильтра грубой очистки и распределительного щита. Блок очистки сточных вод работает аналогично станции «Сток-10».

Блок очистки нефтесодержащих вод (рис 139) предназначен для приема и обработки подсланевых вод. Подсланевая вода поступает в коалесцирующий фильтр. В корпусе фильтра установлена корзина, наполненная коксом. Имеющиеся в воде нефтепродукты в виде капель задерживаются на коксе, укрупняются (коалесцируются) в более крупные капли и с потоком воды поступают во флотатор.

Флотатор в верхней части имеет поплавковый клапан. Перед началом работы флотатор наполняют чистой водой до уровня, устанавливаемого поплавковым клапаном. Нефтесодержащая вода поступает в верхнюю часть флотатора благодаря вакууму, создаваемому вакуумным эжектором. При этом нефтепродукты в виде укрупненных капель поднимаются, образуя на поверхности воды пленку. Вода, сливаясь вниз во флотационную камеру, перемешивается там с газово-воздушной водяной смесью. К выделяющимся из этой смеси газово-воздушным пузырькам «прилипают» пленочные нефтепродукты (процесс флотации). Пузырьки поднимаются в верхнюю часть корпуса флотатора, при этом переносятся и частички нефтепродуктов, увеличивая толщину поверхностного слоя. Когда слой нефтепродуктов в корпусе флотатора достигнет верхнего уровня, накопившиеся нефтепродукты сливаются в специальную емкость.

Очищенная от пленочных нефтепродуктов вода из нижней части корпуса флотатора насосом подается в очистительную колонну, где про-

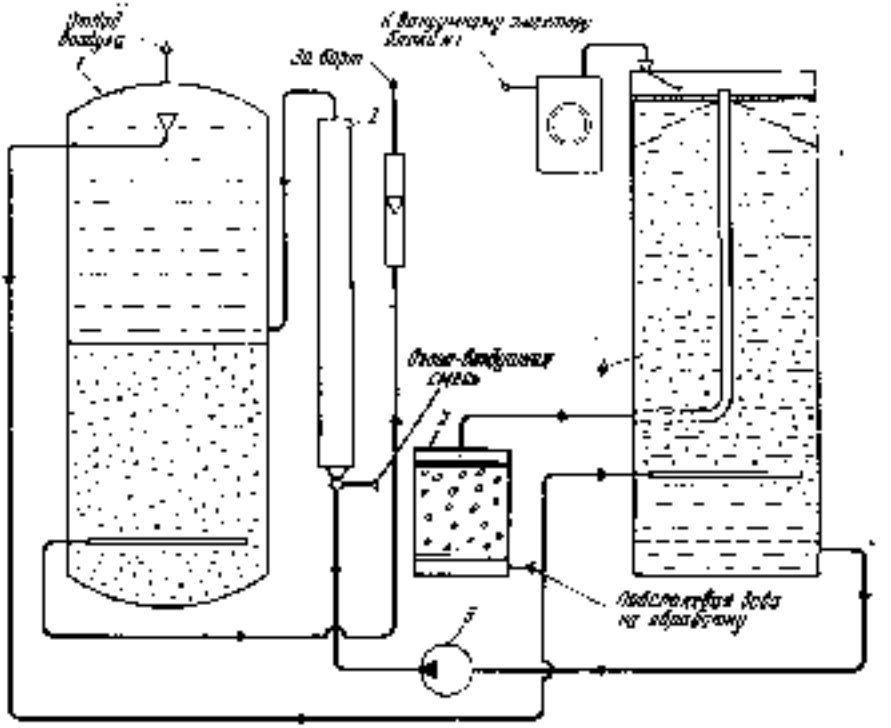


Рис. 139. Станция для очистки сточных и нефтесодержащих вод ОСНВ 10/4:
1 — напорный фильтр; *2* — смеситель; *3* — коалесцирующий фильтр; *4* — флотатор; *5* — насос

исходит окисление эмульгированных нефтепродуктов озоно-воздушной смесью. Вода с эмульгированными частицами нефтепродуктов подается в песчаный напорный фильтр 1. В фильтре применяется песок марки ГМ диаметром 0,315—0,63 мм.

Фильтрующий слой песка задерживает частицы нефтепродуктов. Из нижней части фильтра отводится за борт очищенная вода. При этом достигается снижение в воде количества нефтепродуктов до 5 мг/л.

94. ЗАЩИТА ВОДОЕМОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ

В речных пароходствах разработана и введена в действие система организации работ по локализации и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на внутренних водных путях. Определена ответственность пароходств, конкретных портов по защите определенных участков водных путей, выделено для этих целей необходимое количество технических средств.

Выбор организационных мер и технических средств по ликвидации аварийных разливов нефти зависит от характера загрязнения. В условиях реки пролитая нефть быстро достигает берега и для ее сбора необходимы мелкосидящие нефтесборные устройства. При этом нефть и мазут оседают на берегу и для их удаления необходимы средства отчистки береговой полосы.

При разливе нефти в условиях озер и водохранилищ необходимы оперативные средства локализации и высокопроизводительные суда-нефтесборщики. В качестве основных технических средств для локализации и сбора пролитой нефти с водной поверхности используют различные боновые ограждения, несамоходные понтоны-сборщики, канатные нефтесборные устройства, самоходные морские и речные нефтесборщики.

Боновое ограждение представляет собой полотнище из синтетической ткани, в верхней части которого находятся цилиндрические поплавки из вспененного полистирола, а в нижней — балластная цепь, воспринимающая нагрузку при натяжении ограждений.

Для сбора нефти на мелководье, недоступного для самоходного нефтесборщика, применяют специальные понтоны-нефтесборщики вместимостью 27 м³.

Для сбора пролитой нефти способом траления Астраханским ЦКБ разработаны и изготовлены бортовые нефтесборные приставки к самоходному судну. В комплект входит две приставки для левого и правого бортов судна и один контейнер. Бортовая приставка состоит из рабочего и вспомогательного понтонов, объединенных между собой фермой-экраном. На рабочем понтоне размещены нефтесборное устройство, насосная установка, шланговое и швартовное устройства.

Вспомогательный понтон служит для удержания фермы-экрана на плаву.

Приставку используют с судном-сборщиком, с которого подается электроэнергия. В емкости судна принимается собранная нефть. Проработан вариант использования в качестве судна-сборщика танкера пр. 588; при этом на борту танкера можно разместить также понтоны-сборщики, неподвижные вакуумные установки, машины с щеточным полотном, плавающие ограждения и другое оборудование для локализации разлива и сбора нефтепродуктов.

Продолжаются исследования по использованию бактериального препарата «Путидойл», принцип действия которого основан на биоразложении нефтепродуктов микробными клетками препарата.

Повышение уровня знаний и квалификации экипажей судов в вопросах охраны окружающей среды имеет исключительное значение. Грамотная эксплуатация судов и природоохранной техники, высокая дисциплина и ответственность позволяют полностью исключить отрицательное влияние судоходства на водные объекты.

Контрольные вопросы и задания

1. Какое воздействие на водный бассейн может оказывать эксплуатация судов?
2. Какие требования по глубине очистки предъявляют к «сбрасываемым за борт сточным водам»?
3. Поясните принцип действия станций очистки сточных вод типа «Сток». Что означает цифра в их названии, например, «Сток-10»?
4. Какую роль играет озоновоздушная смесь в станциях очистки сточных и нефтесодержащих вод?
5. Какую роль в фильтре тонкой очистки ФТО-1 играет активированный уголь?
6. Поясните сущность флотации нефтесодержащих вод станции ОСНВ 10/4.
7. Какими средствами снабжены танкеры для локализации аварийных разливов нефти?

Основные характеристики судов внутреннего плавания

Тип или название головного судна	Номер проекта	Класс	Главные размерения, м				Число и мощность главных двигателей, кВт	Скорость, км/ч	Основная эксплуатационная характеристика	Дополнительные данные
			L	B	H	T				
Пассажирские суда										
«Советский Союз»	20	О	116	12,6	5	2,4	3×660	27	439	Дизель-электроход
«Дмитрий Фурманов»	302	М (1931)	129,1	16,7	4,5	2,94	3×736	25,5	3,62	
«Владимир Ильич»	301	О	116	46	4,6	2,8	3×735	26	360	
«Валериан Куйбышев»	92-016	О	126,6	15,9	5	2,9	3×736	26	400	
«Антон Чехов»	КУ-056	М	115,6	12,8	4,6	2,8	3×660	25,5	250	
«Максим Горький»	КУ-040	О	104,5	12,8	4,3	2,2	3×440	22,1	216	
«Сергей Есенин»	КУ-065	О	90,4	15	4,0	1,63	3×329	22,6	180	
«Октябрьская Революция»	26-37	О	90	11,6	4,3	2,38	3×383	25	426	
«Родина»	588	О	90	12	4,3	2,4	3×295	25	364	
«Россия»	785	О	77,4	9,6	3,15	1,9	2×295	20	259	То же
«Ерофей Хабаров»	960	О	74,6	10,5	3,4	1,4	2×295	20,5	304	
«Отдых-1»	Р 80	О	70	5 / 16,1	3,3	2	2×482	25	1000	Катамаран
«Анатолий Угловский»	Р-104	О	41	2,3 / 7,8	2,6	1	2×735	41	314	»
«Байкал»	646	М	62	9,4	3,7	2,2	2×295	22,5	200	
«ОМ»	780	О	40,6	6,0	2,5	1,5	2×110	20	216	
«Московский-1»	81280	О	36,3	6,5	2,6	1,37	2×110	20	150	
«Москва»	Р-51	Р	36	5,3	1,7	1,14	2×110	24	243	
«Комета»	342 М	М	35,1	9,6	2,1	1,45 / 3,2	2×810	57,6	114	СПК

Продолжение приложения 1

Тип или название головного судна	Номер проекта	Класс	Главные размерения, м				Число и мощность главных двигателей, кВт	Скорость, км/ч	Основные эксплуатационные качества	Дополнительные данные
			l	B	H	T				
«Метеор»	342	Р	30	6	1,6	0,9 / 1,2	2×736	55	124	»
«Ласточка»	03525	О	29	7,2	2,6	0,9 / 1,2	2×993	90	70	»
«Восход»	351	О	25,4	5,5	0,9	0,6 / 1,15	1×736	71	64	»
«Ракета»	340	О	27	4,4	0,8	0,52 / 1,1	1×736	60	62	»
«Заря»	946	Л	20,4	3,65	1,2	0,49 / 0,8	1×736	45	63	СВП
«Луч»	14351	Р	22,6	3,85	1,1	0,4 / 0,7	1×383	40	51	»
«Зарница»	1436	Л	21,3	3,85	0,9	0,3 / 0,6	1×179	34	48	»
«Вергузан»	19591	Э МА	31,8	6	2,3	0,8 / 1,4	2×736 1×220	50	130	»
«Линда»	14200	Р	24,1	4,6	2	0,95	1×736	55	70	Воздушная каверна под днищем
			Грузовое суда							
«Волжский-1»	1566	О	136—+96	16,5	6,5	3,6	2×662	15,4	10000	Составной теплоход
«Волго-Дон-1»	507	О	139	16,5	5,5	3,5	2×736	21	5000	
«Волго-Дон-50»	507Б	О (лед)	136	16,5	5,5	3,5	2×662	20	5000	

«Волго-Дон»	1565	О (лед)	136	16,5	5,5	3,5	2×662	20	5000
«Волга»	19610	КМЛЗ II-СП А2 Регистра СССР	140	16,8	6,7	3,76 4,48	2×970	20	4000 3500
«XXVII съезд профсоюзов»	488-АМ/2	КМЛ 4 II-СПА 2 Регистра СССР	119,2	13,4	6	3,75	2×640	20,5	3000
«Амур»	92-040	М-СП	115,8	13,43	6	3,76	2×515	18,9	2500
«Сормовский»	1557	Р4/ІС Регистра СССР	110,5	13	5,5	3,5	2×482	19,5	3000
«Балтийский»	781 Э		92	13	6,5	3,3	2×482	19,7	2090
«Волго-Балт»	791	М (лед)	110,1	13	5,5	3,35	2×482	19,5	2700
«Ладога-101»	787	КМЛЗ II СПА2 Регистра СССР	110,6	16	4,3	3,28	2×505	18,5	3350
«Нефтеруловоз»	1570	КМЛ4 II-СП Регистра СССР	115,2	13	5,8	3,5	2×482	20,3	2700
«Морской»	1810	Р4/ІС Регистра СССР	84	12,2	5,2	3,2	2×515	22,7	1700
«Ладога»	289	КМЛЗ II-СП Регистра СССР	77,6	11,7	5,6	2,0	2×658	35,5	1650
«Сибирский-2110»	0225	М-СП	129,57	15,8	6	3,2	2×662	19,65	2000
«Невский-21»	РЗ2БУ	М-ПР (лед)	110,7	16	4,1	3,28	2×505	18,5	3350
«Лена»	Р-78	О	105	14,8	6	2,5	2×482	19,0	2170

Продолжение приложения

Тип или название головного судна	Номер проекта	Класс	Главные размерения, м				Число и мощность главных двигателей, кВт	Скорость, км/ч	Грузоподъемность эксплуатационная (дедвейт), т	Дополнительные данные
			L	B	H	T				
«Большая Волга»	81	О	91	13	4,8	2,8	2×295	16,0	2000	
«Шестая пятилетка»	576	О	90	13	4,8	2,8	2×404	19,5	2000	
«Калининград»	21-88	О	100	12,2	4,9	2,6	2×386	20	2000	
«Омский-1»	559Б	О	79,9	15	2,8	1,7	2×295	16,0	1200	
«Омский-58»	Р97Т	О	90,3	15,3	2,8	2,25	3×300	16,5	2200	
«Братья Игнатовы»	Р-19	О	93	6,02 15,6	4,4	2,96	2×662	27,5	1000	Катамаран
Составной теплоход с пагибающим устройством	Р-Ч.3	ЭР	92,6	9	2,5	1,4	2×220	16,7	920	
«Овощевоз»	Р168	О-ПР (лед.)	84	12,3	3,5	2,5	2×440	18	1460	
«Тюменский»	912В	Р	62,6	9,18	2,2	1,4	2×165,5	17,5	350	
«Бахтемир»	326	М (лед.)	92	11,8	4	2,9	2×440	22	1280	Контейнеровоз
«Волгонефть»	1577	М	128,6	16,5	5,5	3,58	2×736	20	5000	Танкер
«Волгонефть-156»	630	М-СП (лед.)	137,8	17,0	6,4	3,7	2×883	19	5000	»
«Ветлуга»	568	М	128,6	16,5	5,5	3,52	2×736	19,5	5000	»
«Ось»	587	О	107,5	13,4	4,8	3,0	2×365	18	3300	»
«Ленинефть-2047»	621	М-СП (лед.)	122,75	15,3	5,2	2,5	2×640	19	2100	»
«Ленинефть»	Р-77	М	105	14,8	4,4	2,2	2×482	19	2100	»
Толкачи и буксиры										
«Маршал Блюхер»	947	О	50	13,6	4,3	3,08	2×1472	28	350	
ОТ-2401	Е03290	О (лед.)	51,56	12,01	3,3	2,05	2×883	22,0	160	
ОТ-2001	429	О (лед.)	44	11,6	3,3	2,1	2×735	23	155	

ОТ-1500	Р-153	О (лед)	41,5	13	3,8	7,5	2×662	17,0	140	Буксир-плотовод
«Озерный-201»	Н3180	О (лед)	46,5	9,2	3,3	2,5	2×515	21	130	
«Байкальский»	Р-18	М (лед)	41	9	4,4	3,06	2×482	21,8	135	
ОТА-691	758АМ	О	38,6	8,2	3,2	2,14	2×295	20	85	
«Портовый-1»	Р-47	О (лед)	27	7,7	3	1,9	2×220	18,3	65	
Толкач-буксир	Н1170	О (лед)	34,4	10,3	2,7	1,54	2×220	18,0	68,5	Плотовод
Толкач-буксир	Р-45	Р	32	7,5	2,7	1,3	2×221	19,5	64	
	Р-33	Р (лед)	32	8	2,5	1,4	2×220	20,5	73	
Буксир-плотовод	911В	Р	27,4	6,6	1,5	1,07	2×110	16,9	31	
	Р 11	Р (лед)	30,4	6,6	1,8	1	2×165	17	41	
Рейдовый буксир	Р-303	О (лед)	20	6,6	2,4	1,5	2×110	17	33	
Ледоколы										
«Капитан Чечкин»	414	М (ледокол)	77,6	18,4	4,8	3,25	3×1500	25,7	412	Дизель-электроход
«Капитан Евдокимов»	1191	М-ПР (ледокол)	76,49	16,50	4,6	2,65	3×1605	25	410	То же
«Волга»	16	О (ледокол)	48	12,3	3,6	2,8	2×660	18,5	125	»
Рейдовый ледокол	Р-47	О (ледокол)	30	8,7	3	2,1	1×440	21,5	65	
Несамоходные сухогрузные суда										
Двухниточный состав из четырех секций	2097	О (лед)	194,9	28,4	4,8	3,5	—	—	15000	
Двухсекционный состав	1747.3	О	228,9	34,2	4,8	3,5	—	—	8900	
То же	1581	О	115,6	14	4,8	3,5	—	—	4200	

Продолжение приложения

Тип или название плавучего судна	Номер проекта	Класс	Главные размерения м				Число и мощность главных двигателей, кВт	Скорость, км/ч	Оснащение экспедиционная характеристика	Дополнительные данные
			L	B	H	T				
Бункерная баржа	81 060	О (лед)	108,4	14,2	4,5	3,75	—	—	4500	
Баржа цементовая с линиями закрытыми	1745	О (лед)	110,3	14,2	5,3	4	—	—	9000	
Бункерная баржа	165	Р (лед)	91,6	15,7	3,25	2,5	—		2700	
	Р-85	О	86,7	14	3,5	2,68	—	—	2600	
Баржа-площадка	Р-56	Р	89,6	16,5	2,85	2,63	—	—	2800	
	Р171А	О (лед)	86,8	16,7	2,5	2,3	—		2500	
	ВЛ 100	О (лед)	71,4	14,2	2	1,6	—	—	1300	
	942Р	Р	63,1	14	2	1,66	—	—	1000	
	943	Р	55	12	2	1,6	—	—	600	
	583В31	Р	35	7,5	1,3	1,17	—	—	200	
Баржа-автомобилевоз	Р110	О	96,5	16,8	3,1	2,1	—	—	440	Вместимость 420 автомобилей «Жигули»
Несамоходное наливное судно										
Нефтеналивная баржа	Р43	О	153	27	5,2	4	—	—	9200	
	Р167	О (лед)	113,7	21,28	4	3,6	—	—	6250	
	Р27	Р	110	20	2,85	2,6	—	—	3000	
	Р147	Р	72,56	15,56	2,8	1,56	—	—	1000	
	450НП	Р	77,6	15	2,5	2,2	—		1000	
	1538	Р	74,2	15	1,7	1,23	—	—	1000	
Баржа-бензовоз	Р65	Р	44	8	1,4	0,9	—	—	200	
Баржа с цилиндрическими вставками	16892	М	86,3	17,0	2,6	3,3	—	—	2970	

Двухгрунтозаборные снаряды

Самоходный землесосный снаряд:									
ЗРС-Р-2500	1-517-01	О	64,6	10,5	3,5	1,5	1×1228	—	2500
грунтовый ЗРТ-Р-1000	Р-161	Р	63,8	12	3,1	1,3	1×740	—	1000
						1,5	1×330		
с грунтом для грунта ЗТС-М-СП-600	СО-805	М-СП	66	14	4	2,4	1×661	—	600
Землесосный снаряд ЗРС-Р-250	2466	Р	19	7	1,2	0,64	1×220		250
Самоходный многочерпаковый шаландовый снаряд:									
МШС-О-550	Р36	О	52	10,5	3,5	2,2	1×368	—	550
МШС-О-350	10-Р-9	О	48	9,2	3,5	2	1×220	—	350
Несамоходный многочерпаковый шаландовый снаряд МШН-Р-250	92-035	Р	30,3	6,8	2,1	1,1	1×185 1×140	—	250

Снаряды для добычи и обработки песчано-гравийной смеси

Несамоходный электрический снаряд ПЭС-О-800	Р-139	О	92,6	12,3	1	1,47	1×960	—	800

Тип или название плавучего судна	Номер проекта	Класс	Главные размерения, м				Число и мощность главных двигателей, кВт	Скорость, км/ч	Основная эксплуатационная характеристика	Дополнительные данные
			L	B	D	T				
Несамоходный дизель-электрический землесосный снаряд НЗС-О-600	1-520	О	59,5	9,48	—	1,69	1×365	—	600	
Несамоходный землесосный снаряд НЗС-О-525	Р-149	О	62,8	10,2	9,92	1,26	1×395	—	525	
Многочерпаковый эскаваторный снаряд с сортировочным устройством ПЧС-О-450	92-017	О	73	13,2	10,5	1,76	1×550	—	450	
Плавучий гидроперегружатель	Р-166 Р-69	Р Р	62,6 35,4	10,4 9	13 9	1,65 1,28	1×1247 1×300	— —	2000 1000	
Плавучие краны										
Плавучий кран грузоподъемностью:										
16 т	81-030	О (авт.)[1]	32,3	16	2,6	1,16	1×330		16	
5 т	81-040	О (авт.)[1]	26,6	12	2,6	1,14	1×243	—	5	

Примечания: 1. В графе B для катучерпаков указана ширина одного корпуса, а знаменателе — ширина судна.
2. В графе T в числителе указана осадка при движении на подводных крыльях или воздушной подушке, в знаменателе — в водоизмещающем положении.
3. В графе «Основная эксплуатационная характеристика» для пассажирских судов приведена пассажировместимость, чел., для грузовых судов и барж — грузоподъемность, т, для толкачей, буксиров и ледоколов — тяговое усилие или упор, кН, для земснарядов и гидроперегружателей — производительность по грунту, м³/ч, для плавучих кранов — грузоподъемность, т.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Васин А. М. Ходкость и управляемость судов. М.: Транспорт, 1977. 456 с.

Белан Ф. Н., Чудновский А. М. Основы теории судна. Л.: Судостроение, 1978. 252 с.

Власов А. Л. Устройство судов технического флота. М.: Транспорт, 1980. 270 с.

Горячев А. М., Подругин Е. М. Устройство и основы теории морских судов. Л.: Судостроение, 1983. 225 с.

Зайцев Н. А., Москалик А. И. Отечественные суда на подводных крыльях. Л.: Судостроение, 1967. 363 с.

Лапбин Г. П., Симонов Ю. А. Суда на воздушной подушке. Л.: Судостроение, 1971. 216 с.

Лесюков В. А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. М.: Транспорт. 1982. 303 с.

Морской энциклопедический справочник. Л.: Судостроение, 1986. 309 с.

Правила Речного Регистра РСФСР. М.: Транспорт, 1989. Т. 1 — 326 с., т. II — 311 с., т. III — 464 с.

Ситченко Н. К., Ситченко Л. С. Общее устройство судов. Л.: Судостроение. 1987. 328 с.

Смирнов Н. Т., Чижов А. М. Теория и устройство судов. М.: Транспорт. 1981. 225 с.

Стороженко Н. Ф. Судовые спасательные устройства. М.: Транспорт. 1978. 272 с.

Томас К. Гилмер. Проектирование современного корабля. Л.: Судостроение, 1984. 375 с.

Фукельман В. Л. Основы теории корабля. Л.: Судостроение. 1977. 247 с.

Чижиев И. А. Судовые системы. М.: Транспорт, 1984. 221 с.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

В указатель включены основные понятия и термины, содержащиеся во всей книге, кроме аннотаций, списка литературы и оглавления.

Материал расположен в алфавитном порядке по принципу «слово за словом». Понятия сгруппированы в рубрики и подрубрики. Инверсия (обратный порядок слов) применена только в тех случаях, когда прямой порядок слов затруднил бы поиск (например, Боя́жная масштаб, Волны длина).

Знаком тире заменено каждое повторяющееся слово рубрики или подрубрики, в том числе предлоги.

Автономность плавания 10
Автостоп — см. Счетные устройства автоматические
Арматура трубопроводная 201
  запорная 201
  изготовления способ 201
  классификация 201
  предохранительная 201
  приводы управления 201
  распределительная 201
  регулирующая 201
Атимаков 11
Ахтерпик 5
Ахтерштевень 142

Бак 5
Бассейны 15
  категория 15
  опытовые 89, 90
  разряды 15
Бачок 16
Бизань-мачта 163
Блин 164
Блок 20
Боязнина масштаб 37
Борт 5
  высота 21, 41
  — надводного 41
Брашпиль 160, 162
Брештук 132, 141

Бросательный линь 182
Буксир 11, 14
Буксирная арка 185
  лебедка 183, 184
Буксирное устройство 183, 184
Буксирный гак 185

Вал 163
Ватерлиния 18
  ломовая 27
  равнообъемная 47
Вертлюг 159
Вынт шага регулируемого 112
  фиксированного 111
— — — гидродинамически легкий 111
  тяжелый 111
Винтовая линия 104
— поверхность 104
Вместимость судна валовая 9
— — чистая 9
Водоизмещение судна 29
  весовое 30
  добавочный слой 37
  массовое 29, 31
  объемное 29, 33
  — кривая 35
Волны длина 84
— период 84
— скорость распространения 84

Гельмиртовая труба 173
Гидродинамическое качество крыла 96
Горловина 140, 141
Гребные винты:
  в направляющих насадках 109, 110
  гидродинамически легкий 111
  — тяжелый 111
  действие 102
  кавитация 109
  кромка 106
  лопасть 104
  — винтовая линия 104
  — — — угол подъема 105
  — — — — шаговый 105
  — — — шаг 105
  — — поверхность 104
  — контур 106
  — образующая схема 105
  отношение дисковое 106
  — шаговое 105
  площадь диска 106
  сила полезная 108
  типы 102
  ступня 109
Гребные винты и валы, ремонт на плаву 63
Гребные колеса 102, 103
Грот-мачта 163
Груз, вертикальное перемещение на судне 51
— горизонтальное перемещение на судне 52
— малый 37
Грузовая марка 42
  для морских судов 43
  — — знак 43
  — — — каботажных 44
  — — — — — речная 44
  — — — международная 43, 44
  — — — назначение 43
  — — — специальная 43
  знак 41
Грузовая стрела 196
  шкала 38
Грузовместимость судна 9
Грузовое устройство 195
  вспомогательное 196
  технический надзор 198
Грузовой размер 36
Грузоподъемность судна 9
  полная 31
  чистая 9, 31
Дальность плавания 10
Двери брызго-, водо-, водонепроницаемые 139
Двигатель, установка на фундаменте 133, 134
Движитель судовой 6, 101
  водометный 102, 103
  крыльчатый 104
Дедвейт 9, 32
Дейдудное устройство 132, 133
Дельные вещи 139
Дизель-электроход 11
Динамика судна 8
Дисковое отношение винта 105
Дифферент судна 24
— угол 24
Длина судна габаритная 21
— — наибольшая 21
— — по ватерлинии конструктивной 20
  расчетная 21
Днище 5
Док 155
Дорожки наклонные слипа 156
Дымовая труба 143

Живость характеристики 86
  живость 86
  — коэффициент 86
  плавность 86
  пограничный слой при движении 86
Жесселя формула 80
Журнал построечный 154
  регистрации 154

Заливания угол 89
Засасывающая сила 107
Затопление отсека 77
Защита водоемов от загрязнения нефтью 227
  боновое ограждение 227
  бортовые нефтесборные приставки 227
Земснаряд 11, 15
  землесосный 15, 143
  корпус 143, 144
  многочерпаковый 15, 143
  самоходный 143
  требования 143, 145
  штанговый 143

Иллюминатор 140, 141
Инклинограф 74
Испытания скоростные 112
— тяговые динамометрические 113
— ходовые 154
  швартовные 154

Кавитация 108
  — кипение холодное 108
Канаты, виды 157, 158
— характеристики 158
Кардинс 125
Качка 82
  амплитуда 82
  бортовая 82
  вертикальная 82
  влияние учёт 84
  килевая 82
колебания собственные (свободные) 83
  коэффициент динамичности 83
  на волнении 83
  период 82, 83
  плавность 9
  размах 82
  силы на скуловых килях 84
  успокоители 83
  — гироскопические 85
  — скуловые кили 85
  — — цистерны 85
  частота 82, 83
Килевая линия 21
Киль скуловой 85
Кильсон 125
Килевая планка 181, 182
Класс судна 16
  символ 16
  экспериментальный 16
Классификационное свидетельство 17
Кнехт 181
Комингс 5
Контрфорс 134
Корпус 5, 20
  деформации при волнении 115
  железобетонный 146
  — испытания 148
  — способ постройки монолитный 147
  — — — сборно-монолитный 147
  из легких сплавов 145
  конструкции 129
  наружная обшивка 129
  переборки 5, 134
  пластмассовый 148
  — конструкции одно- двух-
  трехслойная 148, 149
  — стеклопластиковый 148
  подводной части обвод 32
  прочность 114
  размерения главные 20
  с двойным дном 129, 131
    двойными бортами 131
  — двумя цилиндрическими вставками 131
  системы набора 124
    — в машинном отделении 133
  — — поперечная 124, 125, 126
    — продольная 124, 126, 126
    — смешанная 127
  соединения элементов 121
    — заклепочные 122
  — — сварные 122
  судна-нефтерудовоза 130, 131
  — смешанного плавания 130, 131
  форма 21
  — характеристики 23
Коуш 163, 164
Коффердам 5
Коэффициент:
  весомости 107
  полезного действия механический 94
    — пропульсивный 93
  полноты корпуса 22, 24
  — — батерлинии 22
  — — вертикальной 22
  — — мидель-шпангоута 22
  — — обшей 22
  — — продольной 22
  попутного потока 107
  трения 91, 92
  утилизации водоизмещения по дедвейту 32
  — чистой грузоподъемности 32
Крена угол 24
— — динамический 88
Крен-балласт 74
Кренования опыт 73

Леерный пояс 128
Леерное 14
Лыда сплошенность 16
Люк 5
  грузовой 137
  световой 139
  сходный 139, 140
Люковое закрытие 137
  Мак-Грегора 137, 139
  шарнирно-соленчатое 138, 139

Магнит переменный 54
— постоянный 31
Мачты 162
Метацентр поперечный 48
— продольный 72
Метацентрическая высота поперечная 49
— — при перемещении груза 51
— — продольная 72
— диаграмма 47, 48
— формула 49, 72

Метацентрический радиус поперечный (малый) 48
— — продольный 71
Мидель-шпангоут 163
Мидель-шпангоут 163
Момент:
восстанавливающий 47, 65
инерции площади 48
кренящий 48, 66, 69
— динамический 68
— — допустимый 69, 70
— — от ветровой нагрузки 60, 61
— — при поперечном перемещении груза 52
— — опрокидывающий максимальный 68
— — предельный 116
Мореходные качества судна — см. Навигационные качества судна
Мощность индикаторная 94
— полезная 93
— эффективная 93

Навигационные (мореходные) качества судна 9
Нагрузки:
вызывающие наклон корпуса 114
постоянные 114
при выходе судна на волну 115
случайные 114
эпюры 114, 115, 116
Надзор специальный 16
— технический 15
Наплавка 6, 135
Наклонения судна равнообъемные 47
Насадка направляющая 109
— поворотная 173
Непотопляемость 9, 75, 76

Обтекаемость 10
Обшивка наружная 127, 128
— ледового пояса 129
— толщина 127
Оконечности 132
— толкаемых судов 132
Опрокидывающий угол 68
Осадка 21, 25
в районе центра тяжести 25
— изменение при приеме груза 37
— — при переходе из пресной воды в соленую 39
— — продольном наклонении судна 73
— средняя 25
Оснастка 152
Остойчивость 9, 45, 46
влияние груза подвижного 56
— — — жидкого 57, 58
— — — подвешенного 56
— — — сыпучего 59
— — при приеме и снятии 53
— динамическая 47
— — диаграмма 67, 68
— — плеча 67
— коэффициент 71
— начальная, элементы 49
— нормирование 68
— отрицательная 50
— поврежденного судна 75
— показатель 50
— положительная 50
— поперечная 46
— — изменение 51
— — четецентрическая формула 49
— при больших углах крена 64
— — затоплении отсека 77
— — посадке на грунт 61, 62
— продольная 71
— — формула 72
— — элементы 72
— статическая 47
— — диаграммы 65, 66
— — универсальная 70
Отверстия закрытые 41
Очистка сточных и нефтесодержащих вод 219
— биохимические процессы 223
— глубина 219
— инсинераторы 220
— подсланевых 224
— станции 220
— — ОСПВ 10/4 225, 226
— — «Стик-10» 222
— — «Стик-150» 220, 221

Паз 127
Палуба 5
Пароль 14
Пароход 11
Парусности площадь 60
— центр 60
Пассажировместимость 9
Переборки 5, 134
гофрированная 134, 135
плоская 134, 135
форпиковая 135
Пиллерс 125
Плавучесть 9
запас 40, 43
— относительный 40
— сила 29
— условия 28

Шпангоут кренящей пары 46
Плоскость
  ватерлинии грузовой 18
  — конструктивной 18
  диаметральная 18
  мидель-шпангоута 18
  нейтральная 55
  основная 18
Поворотливость 78
Подобие гидродинамическое 89
Подруливающее устройство 177
  расположение 176
  туннельного типа 177, 178
Пожарная сигнализация 189
Полукрепта 20
Помещения судовые 136
Посадка судна 24
  при заполнении отсека 77
  — приеме и снятии груза 53
  — · графики 55, 66
  — — — — — определение 55
  принятая 24
  прямая (на ровный киль) 24
Прицельный брус 141, 142
Проектирование судна 150
  документация рабочая 150
  · технологическая 151
  проект технический 150
  эскизный 150
  техническое задание 150
Противопожарная защита 168
  конструктивная 168
  огнетушители ценные 170
  · углекислотные переносные 171
  пожарная сигнализация 189
  — — автоматическая 189
  — — — извещатели 169, 170
  ящики с песком 171
Прочность 9
  местная 116
  расчет 117

Равновесие судна статическое 49
Радионавигационное оборудование 7
Рангоут 161
Расходы эксплуатационные 10
Рейка углубления 42
Рейнольдса число 89
Речной Регистр РСФСР 15
Рея 163
Рулевая машина 176
  ручная 176
  электрическая 176
  электрогидравлическая 177
Рулевое устройство 171, 173
Рулевой привод 174
  от рулевой машины 176
  румпельно-секторный 175
  румпель-тали 176
  секторный с штуртросовой проводкой 175
Руль 79
  балансирный 172
  — подвесной 172
  действие 79
  заднего хода 174
  обтекаемый 172
  пластинчатый 172
  полубалансирный 172
  простой 172
  расположение 174
Рыскливость 79

Сила плавучести 29
— поддержания 28
Системы судовые 7, 197
  автономные 199
  балластная 199, 202
  вентиляции 213, 214
  виды и назначение 198
  водоталивная 204
  водоснабжения 204, 206
  · станция «Озон-0,5» 206
  групповые 199
  децентрализованные 199
  искусственного микроклимата 210
  кондиционирования воздуха 214, 215
  общесудовые 197
  осушительная 202, 203
  отопления 211
  — водяного 211
  — воздушного 212
  · парового 211, 212
  охлаждения 215
  — воздушного 216
  — непосредственного 215
  — рассольная 216
  — смешанная 216
  пожарная 207
  · водотушения 207
  — мелкораспыленной водой 208
  — — спринклерная 208
  паротушения 208
  — дегазотушения 208, 209
  — тушения жидкостного 210
  — — объемного 207
  — — поверхностного 207
  · — углекислотного 209

санитарные 206
— очистки сточных вод 207
— фановая 206
— шланговая 207
соединения трубопроводов 199
специальные 197
— танкеров 216
— — газоотводная 217
— — грузовая и зачистная 215, 217
— — мойки танков 218
— — подогрева вязких нефтепродуктов 217
— — парового 218
трюмные 202
централизованные 199
Скоба 164
Скорость судна 10
— — критическая 91
Слипы поперечные гребенчатые 154
— продольные 155
Соединение
балок набора 122
заклепочное 122, 123
сварное 122
— тавровое 122
— угловое 122
Спасательные средства 165
индивидуальные 166
— жилеты 167
— круги 166
— нагрудники 167
классификация 165
Конвенция «Солас-74» 167
на судах смешанного плавания 167
плоты 165
— металлические и пластмассовые 165
— надувные 165, 166
приборы 166
шлюпки 165
Стапель 152
бала 152
горизонтальный 152
наклонный 152
Статика судна 8
Стеклопластик 148
Стрингер бортовой 126
— палубный 128
Строевая по ватерлиниям 34
— — шпангоутам 34
Сэнк 127
Судно 5
буксир 11
буксир-толкач 11
винтовое 11
водоизмещающее 11
волокнистое 11
вспомогательное 11
транспортное 10, 94
— воздействующие силы 95
— режимы глиссирования 95
— — переходный 95
— — плавания 96
грузовое 11
классификация 10
комбинированное 11
корпусов виды 12
морское 11, 13
на воздушной подушке 10, 98
— — амфибийное 10
— — — высота парения 99
— — — подушки образование 98
— — — равновесия уравнение 98
— — — скеговое 10
— — сопротивление движению аэродинамическое 99
— — — гидродинамическое 100
— — — импульсное 99
— — — — полное 99
— — — — реактивное 99
— — — устройство 99
— подводных крыльях 10, 95
— — — воздействующие силы 96
— — — крыла подъемная сила 96
— — — — принцип действия 95
— — — устройство 97
— — — равновесие 97
— — — режим переходный 96
— — — плавания 96
— — — скорость 97
навигационные качества 9
научно-технический прогресс 3
несамоходное 11
парусное 11
пассажирское 12
перемещения виды 82
плавания внутреннего 10, 11
— — классификация 10
— — по материалу для изготовления 12
— — — назначению 11
— — — принципу поддержания на воде 10
— — — району плавания 11
— — — типу главного двигателя 11
— — — движители 11
— — — характеру движения 11
— — характеристики 229
— смешанного (река — море) 11

подобие геометрической модели 86
посадка 24, 53, 55
проектирование 150
— проект технический 150
— — эскизный 150
— рабочая документация 150
— техническое задание 150
равнодействующая 29, 30
— условия 30
размерения главные 20
самоходное 11
с воздушной каверной на днище 100
— воздушным винтом 11
— гидродинамическим принципом поддержания 94
— крылатым движителем 11
скорость в каналах 91
сопротивление движению 86
— — воды 88
— — воздуха 86
— — волновое 87, 91
— — выступающих частей 88
— — лобовое 96
— — на мелководье 90
— — определение по результатам модельных испытаний 86
— — остаточное 88
— — полное 86
— — сила эластичная 107
— — — трения 87, 91
— — формы 87
спуск на воду 154
— — — боковой 156
— — — до полного испытания 156
— — — прижкой 156
стоечное 11
строительство 151
— подготовка производства конструкторская 151
— — — материально-техническая 151
— — — планово-технологическая 151
— сборка корпуса поточно-позиционная 153
— стоимость 10
— технология 153
— — блочная 153
— — подетальная 153
— — секционная 153
сухогрузное 13
— несамоходное 14
танкер 13
теория (исторический обзор) 7
— технического флота — см. Земснаряд
толкач 11
транспортное 11
устройство 5
экранноплан 100
эксплуатационно-экономические качества 9
Судовые устройства 6
Судоподъемник вертикальный 165
Судостроительные материалы 119
— алюминиевые сплавы 121
— стали 119
— — легированные 120
— — марки 119, 120
— — профильный прокат 120
— — углеродистые 120
Сцепные устройства 185
— автоматические (автосцепы) 185
— — — сборные 186, 188
— — — — характеристики 188
— — — решетчатые однозамковые клепаного типа 186, 187
— — — — — характеристики 187
— — — универсальные двухзамковые 189, 190
— — — — характеристики 189
— — — сортовые 189, 191
— — — — изгибающие 189, 191
— — — — с поворотной балкой 192
— — — канатные 185, 186

Такелаж 163
Такт потока 154
Татрит 164
Танкер 13
Теоретическая шпация 20
Теоретический чертеж корпуса 18, 19, 152
Теплоход 11
Толкач 11, 14
Топ 163
Транцборд 155
Трубопроводов соединение 199, 200
— бортовое 200
— муфтовое 200
— фланцевое 199
— штуцерно-торцовое 201
Турбоход 11

Угол:
— дифферента 24
— заливания помещений 69
— — предельный момент 70
— крена 24
— подъема винтовой линии (шаговый) 105

Управляющие средства вспомогательные 79
— — основные 79
Управляемость 9, 78
— при движении назад 78
Устойчивость на курсе 78

Фал 163
Фильтр тонкой очистки 224
Флагшток 163
Фок-мачта 162, 163
Форпик 5
Форштевень 141
Фруда число 89
Фундамент 141
— крепление механизмов на амортизаторах 141, 142

Ходкость 9, 86
Ходовые характеристики 111

Центр величины, траектория 98
— тяжести 29
Цепной стопор 180
— ящик 179
Цепь якорная — см. Якорная цепь
Циркуляция 80
  вираж 81
  маневренная 80
  период 81
  смещение обратное 81
  — прямое 81
  тактический диаметр 81
  установившаяся 80
  — диаметр 80
  эволюционная 80
Цистерна успокоительная активная 85
— — пассивная 85

Шаблон масштабный 152
Шаговое отношение 105
Шварговое устройство 180
Шкартовые вьюшки 182
— клюзы 181
— механизмы 182
— операции, судовой автоматический комплекс 183
Шельф 134
Ширина корпуса 21
  габаритная 21
  наибольшая 21
Шпангоут 18
  площадь 25
  — определение 26, 27
  рамный 124
  флорный 125
  хомутовый 125

Эквивалентный брус 118
Экраноплан 100
Эксплуатационно-экономические качества судна 9
Энергетическая установка 6
Эрозия 109

Ют 5

Якорная цепь 158, 159, 179
  звено без распорки 159
  — концевое 159
  — общее 159
  — соединительное 159
  — с распоркой 159
  — увеличенное 159
  испытания 161
  — нагрузкой пробной 161
  — — разрушающей 161
  калибр 159
  лигая 158
  сварная 158
  смычка 159
  — хорошая 159
  — промежуточная 159
  — якорная 159
Якорное устройство 178, 179
Якорный клюз 179
— механизм подъема 179
— стопор 180
Якоря 160, 178
  адмиралтейский 160
  безлапый (мертвый) 160
  Матросова 160
  Холла 160

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 3

Раздел первый

ОСНОВЫ ТЕОРИИ СУДНА 5

Глава I. **Характеристики и классификация речных судов** 5

1. Общее устройство судна 5
2. Краткий исторический обзор развития теории судна 7
3. Навигационные и эксплуатационные качества судна 9
4. Классификация речных судов 10
5. Типы речных судов и основные направления в развитии судостроения 12
6. Технический надзор за судами 15

Глава II. **Геометрия корпуса судна** 18

7. Теоретический чертеж корпуса 18
8. Главные размерения и коэффициенты полноты корпуса 20
9. Посадка судна. Определение осадки по маркам углубления . . 24
10. Определение площадей шпангоутов и ватерлиний по теоретическому чертежу 25

Глава III. **Плавучесть судна** 28

11. Условия плавучести и равновесия судна 28
12. Водоизмещение, дедвейт и чистая грузоподъемность судна . . . 31
13. Определение объемного водоизмещения по теоретическому чертежу 32
14. Строевые по шпангоутам и ватерлиниям 33
15. Кривая водоизмещения. Грузовой размер и грузовая шкала . . . 35
16. Изменение средней осадки судна при приеме и снятии груза . . 37
17. Изменение осадки судна при переходе из пресной воды в соленую и обратно 39
18. Запас плавучести и грузовая марка для речных судов 40
19. Грузовая марка для морских судов 43

Глава IV. **Остойчивость судна** 45

20. Общие сведения 45
21. Поперечный метацентр и метацентрический радиус 47
22. Условия остойчивости. Поперечная метацентрическая высота . 48

23. Изменение остойчивости при перемещении груза на судне . . . 51
24. Изменение остойчивости и посадки судна при приёме и снятии грузов . . . 53
25. Влияние на остойчивость подвижных грузов . . . 56
26. Определение кренящего момента от ветровой нагрузки . . . 60
27. Остойчивость при посадке на грунт . . . 61
28. Подъем кормы судна на плаву для ремонта гребных валов и винтов . . . 63
29. Остойчивость при больших углах крена судна . . . 64
30. Диаграмма статической остойчивости . . . 65
31. Диаграмма динамической остойчивости . . . 67
32. Нормирование остойчивости . . . 69
33. Продольная остойчивость . . . 71
34. Опыт кренования . . . 73

Глава V. **Непотопляемость судна** . . . 75

35. Обеспечение непотопляемости . . . 75
36. Оценка посадки и остойчивости судна при затоплении отсека . . . 77

Глава VI. **Управляемость судна** . . . 78

37. Общие сведения . . . 78
38. Принцип действия судового руля . . . 79
39. Циркуляция судна и расчет ее элементов . . . 80

Глава VII. **Качка судна** . . . 82

40. Основные понятия о качке и ее элементы . . . 82
41. Качка судна на волнении. Успокоители качки . . . 83

Глава VIII. **Сопротивление воды движению судна** . . . 86

42. Составляющие сопротивления воды движению судна . . . 86
43. Определение сопротивления воды движению судна по результатам модельных испытаний . . . 88
44. Влияние условий плавания на сопротивление воды движению судна . . . 90
45. Определение мощности главных двигателей судна . . . 93
46. Суда с гидродинамическим принципом подвержания . . . 94

Глава IX. **Движители** . . . 101

47. Типы и особенности судовых движителей . . . 101
48. Геометрические характеристики гребного винта . . . 104
49. Взаимодействие гребного винта с корпусом судна . . . 106
50. Кавитация гребного винта . . . 108
51. Гребные винты в направляющих насадках . . . 109
52. Согласование работы гребных винтов и главных двигателей судна . . . 111

Раздел второй

УСТРОЙСТВО, ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПОСТРОЙКИ СУДОВ

Глава X. **Конструкции корпусов судов** . . . 114

53. Понятие о прочности корпуса и ее нормирование . . . 114
54. Судостроительные материалы . . . 119
55. Соединение элементов конструкций корпусов . . . 121
56. Системы набора корпуса . . . 124
57. Наружная обшивка корпуса и настил палубы . . . 127
58. Конструкции корпусов . . . 129

59. Конструкции оконечностей и машинного отделения 132
60. Конструкция и назначение поперечных и продольных переборок 134
61. Конструкция надстроек, оборудование судовых помещений . . 135
62. Грузовые люки и их закрытия. Дельные вещи 137
63. Конструкции отдельных узлов судна 141
64. Конструкции корпусов судов технического флота 143
65. Конструкции корпусов судов из легких сплавов 145
66. Конструкции корпусов судов из железобетона 146
67. Конструкции корпусов судов из пластмасс 148

Глава XI. Организация постройки судна 150

68. Понятие о проектировании судна 150
69. Подготовка к строительству судна 151
70. Этапы строительства судна 152
71. Устройства для спуска судна на воду 154

Глава XII. Оборудование и снабжение судна 157

72. Канаты и цепи 157
73. Якоря 160
74. Рангоут и такелаж 161
75. Спасательные средства 165
76. Средства противопожарной защиты 168

Глава XIII. Судовые устройства 171

77. Рулевое устройство 172
78. Якорное устройство 178
79. Швартовное устройство 180
80. Буксирные устройства 183
81. Сцепные устройства 185
82. Шлюпочное устройство 192
83. Грузовое устройство 195

Глава XIV. Судовые системы 197

84. Назначение и классификация судовых систем 197
85. Трюмные системы 202
86. Системы водоснабжения и санитарные 204
87. Пожарные системы 207
88. Системы искусственного микроклимата 210
89. Специальные системы танкеров 216

Глава XV. Очистка сточных и нефтесодержащих вод 219

90. Обеспечение охраны водных бассейнов 219
91. Судовые станции очистки сточных вод 220
92. Установки для очистки нефтесодержащих подсланевых вод . . . 224
93. Станция очистки сточных и нефтесодержащих вод ОСНВ 10/4 . . 225
94. Защита водоемов от загрязнения нефтепродуктами при аварийных разливах 227

Приложение. Основные характеристики судов внутреннего плавания 229

Список литературы 237

Предметный указатель 238