

**МР  
И  
знаний**

Л. М. КРИВОНОСОВ

# Какими бывают корабли

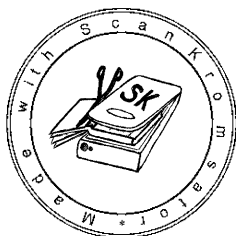


Л. М. КРИВОНОСОВ

# Какими бывают корабли

ПОСОБИЕ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ

6Т4  
К82



Scan AAW

**Кривоносов Л. М.**

**К82**      Какими бывают корабли. Пособие для учащихся.  
М., «Просвещение», 1974.

111 с. с ил. (Мир знаний).

В книге в доступной для школьников VI—VIII классов форме рассказано, как архимедова сила применяется в судостроении, как судостроители вычисляют главные качества всякого судна: плавучесть, остойчивость и непотопляемость.

К       $\frac{0763-224}{М 103 (03) - 74}$  199—74

6Т4

© Издательство «Просвещение», 1974 г.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Ежедневно все морские суда мира доставляют в порты около 7 млн. т грузов и сотни тысяч пассажиров. Тысячи морских промышленных судов вылавливают громадное количество рыбы, сотни судов производят различные научно-исследовательские работы. Миллионы людей проводят свой отпуск на воде. И все это возможно благодаря существованию архимедовой силы.

Какие неисчислимые бедствия постигнут людей, если вода перестанет удерживать на своей поверхности все то, что сейчас плавает, как изменится жизнь на Земле. Опустеют морские и речные порты, реки, каналы, озера, пруды. Уйдут на дно все суда от самых крупных океанских кораблей до самых маленьких лодочек. А сколько новых железных дорог придется построить, чтобы справиться с потоками грузов, идущих сейчас по рекам, каналам, и на сколько дороже будут стоять эти перевозки железной дорогой!

Вот сколь многим обязаны мы архимедовой силе и как широко ею пользуемся!

Кажется, эта сила проста и очевидна, действие ее понятно, однако пролежало же сочинение Архимеда «О плавающих телах» без сознательного использования людьми более двух тысяч лет. Даже сам Архимед, руководивший по повелению греческого царя Гиерона постройкой одного из крупнейших кораблей того времени, не воспользовался своим сочинением. А это очень облегчило бы ему постройку такого необычного военного корабля, длина которого составляла более 90 м, ширина — около 17 м, а высота бортов — около 20 м. 300 рабочих строили его целый год. Корабль был оборудован со всеми возможными тогда удобствами и отделан необыкновенно роскошно. Полы тридцати его кают выложены мозаикой и агатом, потолки сделаны из кипариса, двери — из слоновой кости. Каюты украшены статуями и другими произведениями искусства. Ря-

дом с каютами устроены сады. На палубе возвышались восемь башен, которые служили складами военных припасов и местами для стрелков. Между палубами располагались помещения для экипажа и стойла для лошадей, в носовой части — бассейн для купания и аквариум. В галереях, окружавших корабль, находились кухни, мельницы, кладовые. Везде, где это было возможно, поддерживающие палубы столбы заменены статуями. Вдоль бортов по верхней палубе шла зубчатая стена, за которой стояли мощные метательные машины. Снаружи борта обиты железными крючьями для абордажа. Корабль был снабжен восемью железными и четырьмя деревянными якорями. Он относился к числу военных кораблей — трирем, которые двигались при помощи весел, расположенных тремя ярусами.

И вот, чтобы найти, на какой высоте в бортах надо прорезать отверстия для весел, потребовалось спустить корабль на воду, погрузить на него все грузы, людей, лошадей и отметить на бортах высоту, до которой дошел уровень воды. Только после этого можно было сделать в бортах отверстия для весел, настелить палубы и установить на них сидения для гребцов. Конечно, произвести все эти работы гораздо легче, когда корабль еще стоит на берегу. Но для этого необходимо уметь заранее вычислить глубину погружения судна. Как это сделать, в то время еще никто не знал.

Теперь из физики мы знаем, что тело плавает, когда его сила тяжести равна архимедовой силе. Архимедова же сила равна силе тяжести воды, вытесненной погруженным в нее телом.

Следовательно, судно плавает, когда его сила тяжести со всеми грузами равна силе тяжести воды, вытесненной подводной частью судна. Если это равенство перестанет соблюдаться, то судно может затонуть.

Вот один из таких примеров.

В начале июня 1897 года русский броненосец «Гангут», тогда лишь год назад вошедший в строй и назначенный флагманским (корабль командующего соединением кораблей) кораблем одной из эскадр Балтийского флота, вышел ранним утром с Транзундского рейда в Выборгский залив для проведения учебной артиллерийской стрельбы по деревянному щиту, поставленному на якорь. Окончив стрельбу и собираясь возвратиться на рейд, спустили на воду спасательный вельбот (шлюпка с острыми носом и кормой), чтобы прибуксировать к кораблю щит. Гребцы,

быстро заняв свои места, дружно налегли на весла, но вельбот не отваливал от борта. Пока шла стрельба, ветер крепчал, и как ни старались широкоплечие гребцы, вельбот не шел против ветра. Можно было бы за щитом послать корабельный паровой катер, но его и все свои шлюпки, кроме спасательной, уходя на стрельбу, корабль по уставу оставил на рейде. Поэтому броненосцу пришлось самому идти за щитом. Взгляни в это время командир корабля на карту залива, все прошло бы благополучно и каменистая банка (гряды), лежавшая на пути к щиту, была бы обойдена. Но случилось не так. «Гангут», с хода коснувшись каменистой гряды, проскочил через нее, но пропорол себе борт в подводной части вблизи днища. Пробоина пришлась против одного из четырех котельных отделений броненосца. Для такого корабля это еще не столь большая беда: у него есть второе дно, расположенное выше первого, а междудонное пространство, так же как и весь корпус корабля, разделено поперечными водонепроницаемыми переборками на отсеки. В междудонный отсек можно попасть через горловину (отверстие) во втором днище. Эти горловины закрываются водонепроницаемо крышками на задрайках (зажимах). Но крышка горловины пробитого отсека незадолго до этого была для чего-то снята, и вода, заполнив междудонный отсек, через горловину хлынула в кочегарку. Вахтенные кочегары бросились закрывать, а по-морскому — «задраивать» крышку горловины и гасить огонь в топках, борясь с потоками хлынувшей воды. Устанавливая крышку в спешке на ощупь, ее немного перекосили, и через образовавшуюся щель вода медленно продолжала прибывать. Угольная яма (отсек, в котором хранится уголь), расположенная у поврежденного борта, стала наполняться водой, и корабль начало кренить (наклонять на один борт). Чтобы выровнять крен, пустили воду в угольные ямы противоположного борта. Под тяжестью влившейся воды «Гангут» сел (погрузился) настолько глубоко, что в поврежденном отсеке вода поднялась выше котельных топок и через них, продолжая прибывать, стала наполнять котельные дымоходы. Но пока вода не проникала в другие отсеки, большой опасности для корабля не было. Заполнится поврежденный отсек хоть до палубы, кочегары покинут его через палубный люк, водонепроницаемо задрают, и вода не сможет дальше растекаться по кораблю. С затопленным отсеком корабль останется на плаву.

Но усиливающийся ветер нес корабль на другую песчаную банку. Командир приказал стать на якорь и послать вельбот в Транзунд, чтобы вызвать на помощь корабли эскадры (другого средства дальней связи в те времена не было). Спущенный с подветренного борта вельбот пошел в Транзунд, а броненосец остался спокойно ждать помощи. И вдруг из сухих кочегарок стали поступать тревожные донесения о том, что из топок котлов в кочегарки течет вода. Это казалось невероятным. Откуда морская, забортная вода могла проникать в топки котлов неповрежденных отсеков?

Лишь впоследствии, рассматривая чертежи «Гангута», установили, что с погружением корабля вода по дымоходам котлов поврежденного отсека поднялась до того места, где дымоходы всех котлов соединялись и переходили в одну дымовую трубу. Отсюда-то вода и растекалась по всем котлам.

Теперь положение «Гангута» стало угрожающим: при затоплении всех кочегарок он уже не смог бы удержаться на плаву. К счастью, вовремя подошел учебный крейсер «Африка». Оценив тяжелое положение броненосца, командир «Африки» решил, не тратив времени на подъем якоря «Гангута», немедленно подорвать учебной миной его якорную цепь и отбуксировать броненосец на ту самую песчаную банку, на которую его несло ветром. Сев на мель, броненосец перестал бы погружаться. Но адмирал, находившийся на «Гангута», решил, что гибель корабля неизбежна, и приказал командиру «Африки» спустить все шлюпки и начать спасание людей и имущества «Гангута». С «Африки» спустили все шлюпки и приступили к «спасению».

На первую шлюпку, по уставу, погрузили корабельного священника с церковной утварью, на следующую корабельные документы, денежный сундук; потом стали свозить койки и чемоданы экипажа и только после этого команду и офицеров. Последними «Гангут» покинули адмирал и командир.

Около трех часов длилась эта «спасательная» операция. После ее окончания броненосец, продержавшись с момента получения пробойны семь часов, затонул на глубине 28 м, всего в 370 м от банки, где глубина была не более 9 м.

А как легко было бы, составляя проект «Гангута», заранее вычислить глубину его погружения при получении

пробоины в одном отсеке и расположить общую дымовую трубу выше этого уровня, тогда плавучесть корабля сохранилась бы и его гибель была бы предотвращена.

Сочинение Архимеда «О плавающих телах» заложило лишь основы теории плавучести (способности судна плавать) и остойчивости (способности судна не опрокидываться).

Теперь плавучесть и остойчивость, эти два важнейших качества всякого судна, всесторонне и хорошо изучены. Разработаны способы, пользуясь которыми при проектировании корабля, можно определить, какова будет его осадка (погружение) при различных нагрузках и на какой угол наклонится он под действием различных сил. Разработаны также методы и приспособления, при помощи которых на корабле можно бороться за сохранение его плавучести и остойчивости.

Каждый, кто интересуется кораблями, должен быть знаком с этими двумя их важнейшими качествами.



## КОРАБЛИ БЫВАЮТ РАЗНЫМИ

Почему говорят иногда «судно», а иногда «корабль»? Судном можно называть инженерное сооружение, предназначенное для плавания и приспособленное нести на себе грузы или людей. Баржа, гоночный глиссер, плавучий маяк, океанский лайнер, землечерпалка, торпедный катер, парусная яхта, подводная лодка — все это суда. А вот, например, буй — плавучее сооружение, иногда очень солидных размеров, служащий для ограждения опасных мелей и подводных камней, нельзя отнести к числу судов, хотя его конструкция бывает довольно сложной: буй не приспособлен ни для несения грузов, ни для пребывания на нем людей. Так же и модель судна, хотя бы и сложная, радиоуправляемая, не судно, так как и на ней не может находиться человек. Плавающее бревно, даже способное держать на себе человека, тоже не судно: это не инженерное сооружение.

Кораблями же называют некоторые суда. Прежде всего все боевые суда военно-морского флота: крейсера, подводные лодки, ракетные катера, а также крупные пассажирские и грузовые суда. Название корабль более поэтично, чем судно. Не принято называть кораблями, например, прогулочный катер, парусную яхту, баржу, плавучую пристань, плавучий кран и т. п. Но точного различия между терминами «судно» и «корабль» в судостроении нет. Поэтому мы будем применять и тот и другой термин.

## КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВ

Суда очень разнообразны. Чтобы сравнивать их между собой, судить, какое лучше, какое хуже, устанавливать правила постройки и решать многие другие вопросы, все суда делят на большие группы, каждую из которых на

подгруппы по различным признакам. Такое деление называется классификацией судов.

Основным в классификации судов является их назначение, т. е. то, какую работу они выполняют, для чего служат. По этому признаку различают суда для народного хозяйства и для военной обороны страны. Таким образом, существует две основные группы — это гражданские суда и военные корабли.

Каждую из этих групп в зависимости от назначения делят на подгруппы, так, гражданские суда — на транспортные, вспомогательные, специальные, спортивные, технического назначения и др.

**Транспортным судам** приходится перевозить либо людей, либо грузы. Поэтому их делят на пассажирские и грузовые.

Грузы бывают жидкие, сухие, сыпучие, и для перевозки каждого из них строят специально приспособленные грузовые суда: наливные, зерновозы, углевозы, лесовозы, для грузов в упаковке (генеральных грузов) и т. п. Пассажирские суда также различают по назначению. Одни из них ходят по определенным рейсам, только между определенными портами (лайнеры), другие служат для различных туристских рейсов — круизов, наконец, существуют крупные паромы, перевозящие пассажиров и целые железнодорожные составы внутри порта, через морские проливы, с одного берега реки на другой и т. п. Каждое из них приспособлено для своей узкой цели.

**Вспомогательные суда** — это буксирные, ледакольные, лоцманские, спасательные и другие. Буксирные суда буксируют несамоходные баржи, вводят и выводят крупные суда при их входе и выходе из портов, лоцманские доставляют лоцмана с берега на судно и обратно, спасательные оказывают помощь судам, терпящим бедствие.

**Специальными судами** являются суда учебные, спасательные, научно-исследовательские, пожарные и некоторые другие.

**Суда технического флота** — это землечерпалки, землососы, грузоотвозные баржи (шаланды). Кроме того, к судам технического назначения относятся плавучие мастерские, доки, грузоподъемные краны, кабельные суда, оборудованные для прокладки подводного кабеля, и водолазные боты — мелкие суда, приспособленные для водолажных работ.

К спортивным судам относятся сравнительно мелкие суда для водного туризма, прогулок и соревнований. Их в свою очередь делят на моторные, парусные и гребные. Каждая группа этих судов имеет много разновидностей. Так, моторные суда бывают оборудованы либо стационарным мотором (установленным внутри корпуса), либо подвесным, прикрепленным струбцинками в корме. Подвесные моторы легко снимаются и являются поворотными, ввиду чего судно с таким мотором не нуждается в руле.

Парусные спортивные суда — яхты — делят на крейсерские (прогулочные) и гоночные. Существует много типов яхт, размеры, конструкция и парусное вооружение которых зависит от назначения и района плавания.

Гоночные яхты, кроме общей, имеют и свою специальную классификацию в зависимости от размеров корпуса, его веса и конструкции, от размеров площади парусов и т. п.

Гребные спортивные суда также делятся на прогулочные и гоночные. Они имеют много разновидностей в зависимости от размеров и числа весел.

Поскольку суда одного и того же назначения ходят одни по морям, другие по рекам, озерам, каналам, то их приходится различать по району плавания и делить на морские, внутреннего (например, речного) и смешанного плавания.

Суда строят из стали, железобетона, дерева, пластмассы, очень легких металлических сплавов, и каждый материал требует своей особой конструкции корпуса. Поэтому суда классифицируют и по материалу, из которого построен корпус.

Различают суда и по типу двигателей. На одних ставят двигатели внутреннего сгорания (такие суда называют теплоходами), на других паровые турбины (турбоходы), газовые турбины (газотурбоходы), на третьих электромоторы, для питания которых применяют паровые турбины и электрогенераторы (электроходы). В особую группу выделяют атомоходы на них ставят паровые турбины или электромоторы, в качестве же источника тепла для парообразования на атомоходах служит атомный реактор. Каждый тип двигателей предъявляет судну свои требования.

Для того чтобы судно ходило, судовой двигатель должен приводить в действие специальное устройство, называемое движителем. Гребной винт, гребное колесо, водомет — все это движители. Каждый из них требует особого

устройства и позволяет применять его только на определенном типе судов.

Наконец, суда различаются и по своему внешнему виду. Прежде всего по своей архитектуре. Существуют суда без надстроек (надстройкой называется закрытое помещение на верхней основной палубе, простирающееся от борта до борта), называемые гладкопалубными; суда с надстройкой в носу (баком), в средней части (средней надстройкой) и в корме (ютом) называются трехостровными. Если средней надстройки нет, судно носит название двухостровного. Судно, у которого палуба в корме приподнята, называют кварталечным. Существуют и другие архитектурные типы судов. Различаются они и по высоте надводной части борта, существенно влияющей на безопасность плавания. Суда, перевозящие наиболее тяжелые грузы, например руду, имеют большую осадку и наименьшую допускаемую правилами высоту надводного борта. Они называются судами с минимальным надводным бортом.

Суда, у которых надводный борт выше минимального, называются судами с избыточным надводным бортом. Это суда пассажирские и для легких грузов, имеющие сравнительно малую осадку. Каждый такой признак также учитывается классификацией.

Громадное большинство судов поддерживается на воде или под водой только архимедовой силой. Эти суда называют водоизмещающими. Но есть и такие, которые удерживаются у поверхности воды иными силами природы: гидродинамическими, аэродинамическими и давлением сжатого воздуха. Это — глиссеры, суда с подводными крыльями, суда на воздушной подушке и экранопланы. Хотя число таких судов по сравнению с водоизмещающими невелико, классификация выделяет их в отдельные группы.

Классификацию устанавливают организации, отвечающие за безопасность плавания судов. В СССР организация, отвечающая за безопасность плавания судов, называется «Регистр СССР»<sup>1</sup>. Регистр СССР устанавливает не только классификацию судов, но и правила их постройки, ремонта, эксплуатации и ведет наблюдение за выполнением этих правил. В зависимости от прочности применяемых мате-

---

<sup>1</sup> В Англии — «Регистр судоходства Ллойда», во Франции — «Бюро Веритас», в Америке — «Американское бюро судоходства», в Японии — «Ниппон Кайджи Киокай».

риалов, мореходных качеств, оборудования и снабжения Регистр СССР присваивает морским судам тот или иной класс и определяет допустимый район плавания: закрытые, открытые, арктические, антарктические и другие моря. Судам внутреннего плавания Регистр СССР присваивает разряд в зависимости от разрешаемого района плавания: глубоководные или мелководные реки, озера, каналы. Классификацию и правила постройки кораблей военных Регистр СССР не составляет и за безопасность их плавания не отвечает.

Дальше мы вкратце познакомимся с самыми существенными особенностями морских гражданских судов некоторых групп. В своей основе эти особенности относятся и к судам внутреннего плавания, но в меньшей мере.

## ПАССАЖИРСКИЕ СУДА

Пассажирским (или грузопассажирским) считается всякое судно, имеющее более двенадцати мест для пассажиров<sup>1</sup>. Каких бы размеров оно ни было, сколько бы груза ни вмещало — раз на судне оборудовано более двенадцати мест для пассажиров, оно относится к группе пассажирских. Так во всех странах условились организации, отвечающие за безопасность плавания на судах.

Самые строгие, самые трудные правила постройки во всех странах установлены для пассажирских судов. Эти суда строят из наилучших материалов, конструкция их корпуса должна быть очень прочной, корпус разделен водонепроницаемыми переборками на отсеки, чтобы в случае пробойны вода не распространилась бы по всему судну. Пассажирские суда должны иметь надежные водоотливные и противопожарные помпы (насосы), быть снабжены достаточным числом спасательных шлюпок, плотов, поясов, оборудованы наиболее совершенными радиолокаторами, компасами, прожекторами, радиостанциями. Жилые помещения для пассажиров запрещено располагать ниже уровня воды (высота надводного борта у этих судов больше, чем на других). На пассажирских судах почти всегда два главных двигателя, чтобы в случае поломки одного из них судно не лишилось хода. Пассажирские суда очень устойчивы. Только особенно тяжелые обстоятельства и не-

---

<sup>1</sup> Маленькие прогулочные, туристские, спортивные и т. п. суда независимо от числа мест являются пассажирскими.

благоприятные условия могут явиться причиной опрокидывания пассажирского судна. Правила требуют также, чтобы все каюты имели дневной свет, хорошую вентиляцию, двери, лестницы и коридоры — определенную ширину, а койки — длину и ширину и т. д. Правила не требуют создания большой скорости хода, всевозможных удобств, комфорта, развлечений пассажиров, но, конечно, к этому стремится всякий проектировщик, строитель пассажирского судна. Поэтому постройка и содержание пассажирского судна обходятся очень дорого. Плата за проезд не может окупить этих затрат. Перевозка грузов гораздо выгоднее перевозки пассажиров. Ввиду этого чисто пассажирских судов, за исключением очень небольших, не строят. Каждое пассажирское судно перевозит и грузы; это окупает потери. Места же для грузовых трюмов на пассажирском судне достаточно, так как двигатели, котлы, кладовые и всевозможные подсобные помещения не занимают всей подводной части корпуса. Груз, расположенный в нижней части судна, играет роль балласта; он смещает центр тяжести судна книзу.

Машинную установку пассажирского судна стремятся делать бесшумнее, а перевод ее с хода вперед на ход назад (реверсирование) возможно более быстрым и легким. Самыми совершенными являются турбоэлектрические машинные установки; паровые котлы снабжают паром турбины, приводящие в движение электрогенераторы; ток, вырабатываемый генераторами, питает электромоторы, вращающие гребные валы, на которых насажены гребные винты. В качестве главных двигателей часто ставят и двигатель Дизеля.

По своему внешнему виду морские пассажирские суда значительно отличаются от других судов. Они имеют большие надстройки и несколько палуб над основной палубой. На рисунке 1 показан советский лайнер «Киргизстан» для линий Ростов — Одесса, Ростов — Батуми и других. Его длина — 101,5 м, ширина — 14,6 м, высота борта — 5,7 м, осадка — 3,76 м, водоизмещение (сила тяжести судна с грузом) — 2970 Т. Несмотря на то что современные пассажирские трансатлантические лайнеры очень быстроходны (скорость их доходит до 50 км/ч) и комфортабельны, их вытесняют самолеты.

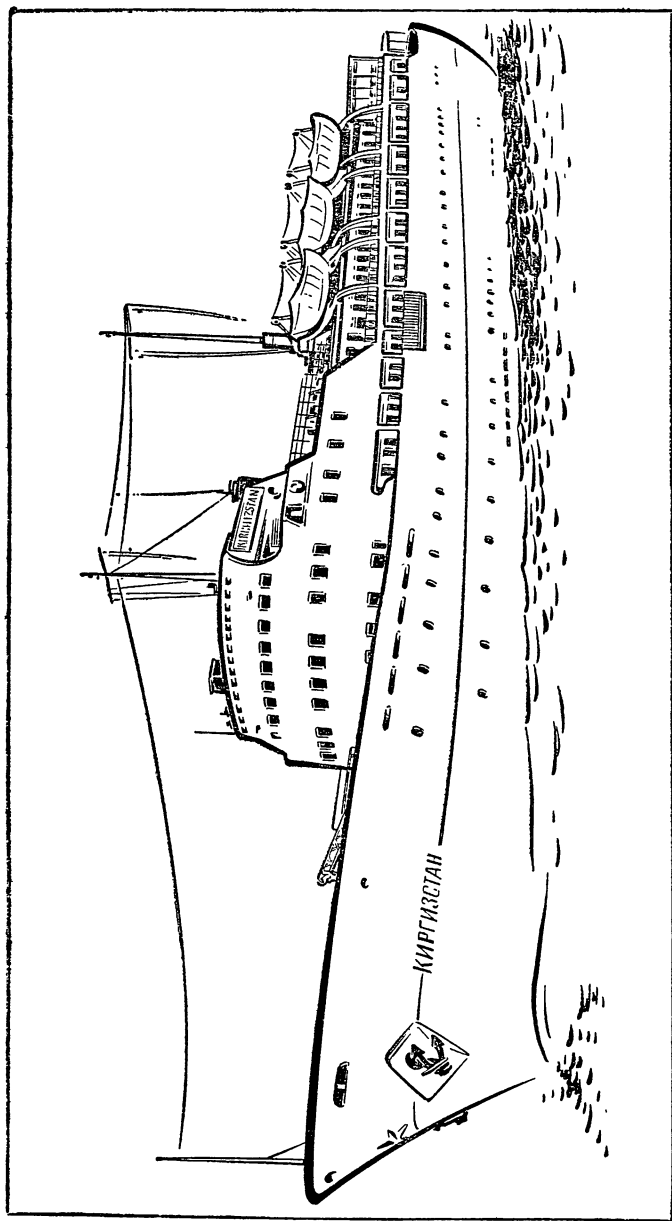


Рис. 1. Морское пассажирское судно «Киргизстан»

## ГРУЗОВЫЕ СУДА

Перевозка грузов водой — самый дешевый вид грузового транспорта. Поэтому грузовые суда очень многочисленны: их в тридцать раз больше пассажирских. Ежедневно все грузовые суда мира доставляют около 7 млн. т груза.

Грузовые суда бывают сухогрузными, наливными, рефрижераторными, комбинированными (для двух видов груза). Для сокращения времени стоянки в портах грузовые суда оборудуют подъемными кранами, грузовыми стрелами, лебедками, транспортерами, насосами и т. п. В большинстве грузовые суда одновинтовые, с двигателем Дизеля, установленным в кормовой части. При расположении двигателя в средней по длине части судна вал, передающий вращение двигателя гребному винту, проходит по всей длине кормовой части и туннель валопровода (ограждение), достаточно высокий и широкий для прохода человека, уменьшает полезный объем кормовых трюмов. Меньшая загрузка кормовых трюмов, чем носовых, приводит к дифференту (разности осадок) судна на нос, что создает дополнительное сопротивление при ходе судна. Чтобы избежать этого, высоту кормовых трюмов увеличивают надстройкой.

У большинства грузовых судов двигатель Дизеля располагают в кормовой части, от чего корма получает значительную загрузку; в этом случае при ходе судна порожнем в носовую балластную цистерну принимают водяной балласт. Высота надводного борта у грузовых судов минимальная, а осадка большая, чем у пассажирских.

По своей архитектуре грузовые суда различны. При выборе числа и расположения надстроек стремятся прежде всего полнее использовать грузоподъемность судна (количество вмещаемого груза в тоннах), ускорить погрузочно-разгрузочные работы и сохранить осадки носом и кормой одинаковыми (создать осадку на ровный киль).

**Сухогрузные суда.** Большинство грузов, перевозимых водой, — сухие, поэтому общая грузоместимость (объем помещений для груза) всех сухогрузных судов мира составляет около  $\frac{2}{3}$  грузоместимости всех транспортных судов. Сухогрузные суда перевозят генеральные грузы, руду, уголь, зерно, цемент, лес и т. п.

**Суда для генеральных грузов.** На таких судах стремятся делать как можно больше (до семи) грузовых трюмов



с широкими люками (прямоугольные отверстия в палубе), чтобы ускорить погрузочно-разгрузочные работы. Для той же цели их оборудуют мощными грузовыми устройствами: стрелами, лебедками, колоннами, а некоторые суда приспособабливают для перевозки грузов в контейнерах (больших специальных ящиках). Однако укладывать много груза друг на друга нельзя, так как нижняя партия может быть раздавлена, поэтому суда для генеральных грузов имеют не менее двух палуб. Поскольку большие водонепроницаемые люковые крышки тяжелы, то для их закрытия и открывания на некоторых судах применяют специальные механизмы, сокращающие время этих операций с 0,5 ч до 5—10 мин, а число матросов, занятых в ней, с 10 до 3. Все эти меры позволили повысить производительность грузовых работ до 40%. И все-таки время стоянки этих судов в портах составляет около половины всего времени их эксплуатации, а расходы за время стоянки — от 30 до 60% всех расходов по эксплуатации судна.

Размещение грузов в трюмах — дело непростое; его надо укладывать так, чтобы верхние грузы выпружались в ближайшем порту, а нижние — в конечном. По весу груз должен быть расположен так, чтобы судно не получило заметного дифферента и крена. Поэтому при разгрузке в крайние — носовой или кормовой — отсеки приходится принимать водяной балласт, для чего служит балластная система (насосы, трубопровод, клапаны и т. п.).

На рисунке 2 показано советское судно для генеральных грузов типа «Ленинский комсомол». Его длина — 169,9 м, ширина — 21,8 м, высота борта — 12,9 м, осадка — 9,7 м, водоизмещение — 22 200 т, грузоподъемность — 13 400 т, число грузовых трюмов — шесть. Грузовое устройство судна состоит из шестнадцати пятитонных, четырех десятитонных и двух шестидесятитонных стрел, шестнадцати пятитонных и четырех десятитонных электрических лебедок, четырех мачт  $\Delta$ -образной конструкции и двух пар грузовых колонн. Судно предназначено для плавания в северных водах.

**Рудовозы.** Руда — навалочный (насыпной) груз большой плотности. Это отражается на конструкции и оборудовании рудовозов. Чтобы центр тяжести груженого рудовоза оказался не слишком низко, второе дно в его трюмах располагают выше, чем на других судах, или же ставят грузовые платформы на некоторой высоте над вторым дном. Слишком низкое положение центра тяжести делает

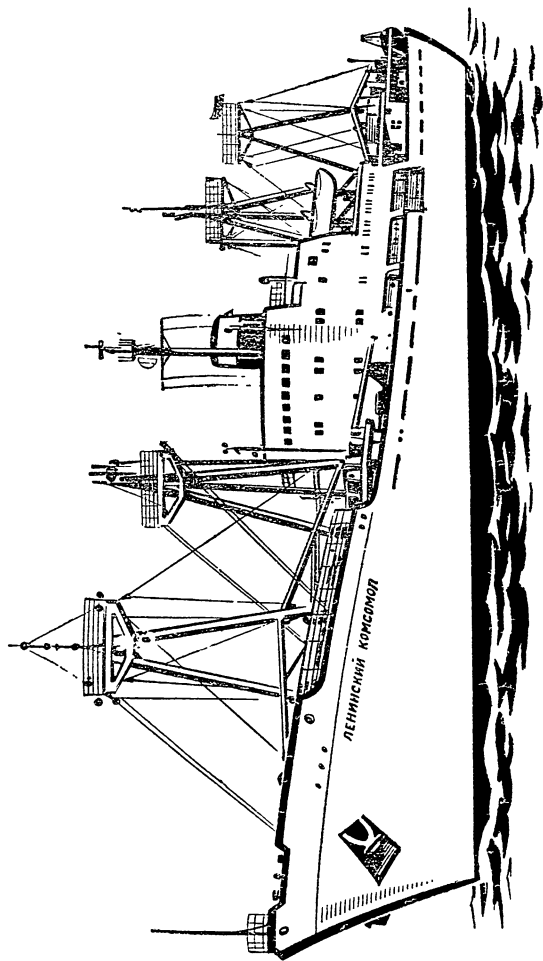


Рис. 2. Грузовое судно для генеральных грузов «Ленинский комсомол»

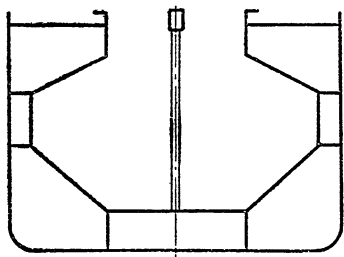


Рис. 3. Поперечное сечение трюма рудовоза

бортовую (поперечную) качку судна стремительной, что распатывает конструкцию корпуса, надстроек и утомляет экипаж.

Погрузку и выгрузку руды производят береговыми специальными кранами с черпаками или грейферами (клещевидными, раскрывающимися, самозахватывающими черпаками). Поэтому на рудовозах грузового устройства либо вовсе нет, либо оно играет вспомогательную

роль.

Для ускорения погрузочно-разгрузочных работ на рудовозах делают большое число люков, через которые черпаки и грейферы свободно опускаются в трюмы. Форма грузовых трюмов такова, что при погрузке не надо штыковать (перебрасывать) руду с середины к бортам трюма и в его углы, а при разгрузке—от бортов к середине (рис. 3). Благодаря большому числу и форме трюмов удастся сделать время разгрузки рудовоза вдвое меньшим, чем время, затрачиваемое на разгрузку судна для генеральных грузов. Рудовозы — суда однопалубные, с очень прочной конструкцией корпуса, с двигателями Дизеля, расположен-

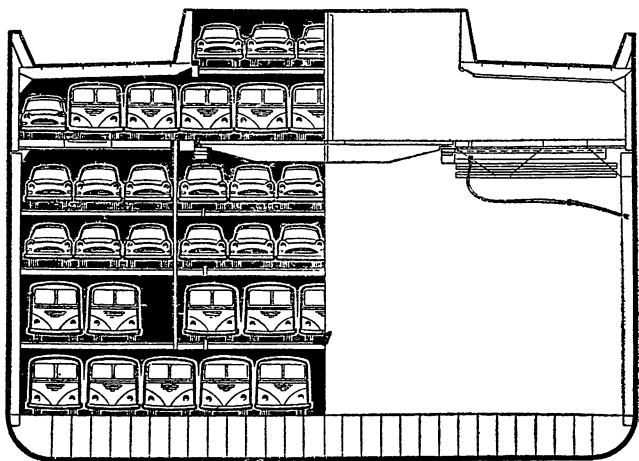


Рис. 4. Поперечное сечение судна для навалочных грузов и автомобилей

ными в корме. Большинство рудовозов — лайнеры, и им нередко приходится возвращаться порожнем, поэтому балластная система рудовозов очень мощная.

В последние годы стали строить суда-универсалы, рассчитанные на перевозку не только руды, но и других либо навалочных (уголь, зерно, цемент), либо штучных грузов и даже нефти. В последнем случае вблизи бортов ставят нефтенепроницаемые продольные переборки, что позволяет в средний отсек грузить руду, а в бортовые нефть.

На рисунке 4 показано поперечное сечение судна для навалочных грузов, приспособленного для перевозки и автомобилей. Внешний вид рудовоза, приспособленного и для генеральных грузов, показан на рисунке 5. Длина судна — 155,5 м, водоизмещение — 18 000 т, грузоподъемность — 11 000 т.

**Углевозы.** Углевозы мало отличаются от рудовозов, так как уголь грузят и выгружают теми же береговыми средствами, что и руду. Но уголь легче руды, и потому он не смещает центр тяжести судна так значительно, как руда. Углевозы — суда однопалубные с минимальным надводным бортом, их двигатель — дизель располагают в корме. Балластная система на них мощная. Чтобы при бортовой качке уголь не пересыпался с борта на борт, в верхней части трюмов между люками посередине ширины судна ставят продольную переборку. Уголь может самовозгораться, что очень опасно для целостности судна. Поэтому на углевозах делают особенно надежную естественную вентиляцию трюмов, удаляющую огнеопасные газы, вызывающие самовозгорание угля, и устанавливают температурные трубки, выходящие из глубины трюмов на главную палубу. Опуская в эти трубки термометр, следят за температурой угля и в случае, если она слишком высока, в трюм пускают углекислоту или пар. По своему внешнему виду углевозы также очень схожи с рудовозами.

**Зерновозы.** Особенность зерна (как груза) заключается в том, что даже при самой полной загрузке через несколько суток хода в трюме появляется свободное место (происходит «утряска» зерна от вибрации двигателя, ударов волн) и тогда зерно может пересыпаться в трюме при бортовой качке. Ссыпавшись к одному борту, оно вызовет крен, что уменьшит мореходность судна. Чтобы этого не случилось, по всей высоте грузовых трюмов, посередине ширины судна между люками ставят постоянные продольные переборки. Под люками переборки делают съёмными

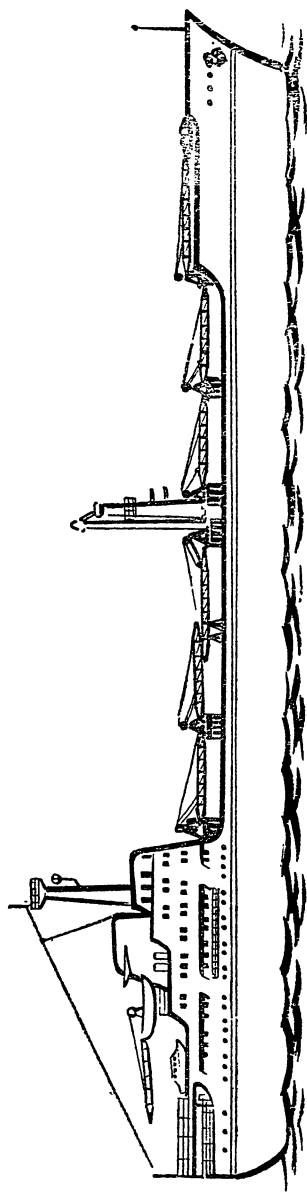


Рис. 5. Судно для генеральных грузов и руды

на случай, если судно обратным рейсом возьмет генеральный груз. С этой же целью некоторые зерновозы имеют две палубы. Так как зерно (в особенности бобовое и гороховое) при намокании разбухает, на зерновозах особенно тщательно следят, чтобы в трюмы не попала вода.

Для погрузки зерна применяют элеваторы, а для выгрузки — пневматические механизмы, высасывающие зерно из трюмов в элеваторы, вагоны, баржи. Поэтому на зерновозах ставят грузовые краны или стрелы только на случай перевозки штучных грузов.

**Лесовозы.** Лесовозы перевозят лес либо круглый (бревна), либо пиленный (доски). Так как лес — груз легкий, то, загружая им только трюмы, нельзя использовать всю грузоподъемность судна. Поэтому лесовозы принимают лес и на палубу. Для этого с нее снимают трапы, вентиляторы, леера (ограждение у бортов) и др. детали. При размещении груза на палубе центр тяжести груженого судна оказывается очень высоко, отчего судно может легко опрокинуться. Поэтому лесовозы строят более широкими, чем, например, рудовозы, что увеличивает способность судна сопротивляться опрокидыванию; с той же целью лесовозы иногда принимают водяной балласт в междудонное пространство. Так как брызги от волн и дождь могут намочить палубный груз (караван) и этим еще значительно повысить центр тяжести судна, то на палубе лес укладывают так, чтобы в случае опасного накренения можно было быстро отдать (сбросить) его за борт, например, ударив топором по тросу или раскрыв откидной гак (крюк).

Лесовозы — однопалубные суда с очень прочными палубой и люковыми крышками, так как груз кладут и на люки. В качестве главного двигателя на лесовозах применяют дизели или газовые турбины, размещая их в корме. Грузовое устройство лесовозов: стрелы, колонны с перекладиной сверху и лебедки, устанавливаемые около надстроек, чтобы не загромождать палубы. Лесовозы чаще всего суда трех- или двухостровные. Так как лес большей частью груз северный, некоторые лесовозы имеют нос ледокольного типа и ледовое подкрепление к конструкции корпуса. На рисунке 6 показан советский лесовоз типа «Павлин Виноградов». Его длина — 121,8 м, ширина — 16,1 м, высота борта — 8,25 м, осадка с лесом — 7,0 м, водоизмещение — 9420 т.

**Наливные суда (танкеры).** Танкеры — самые крупные грузовые суда. Их грузоподъемность достигает 300 000 т,

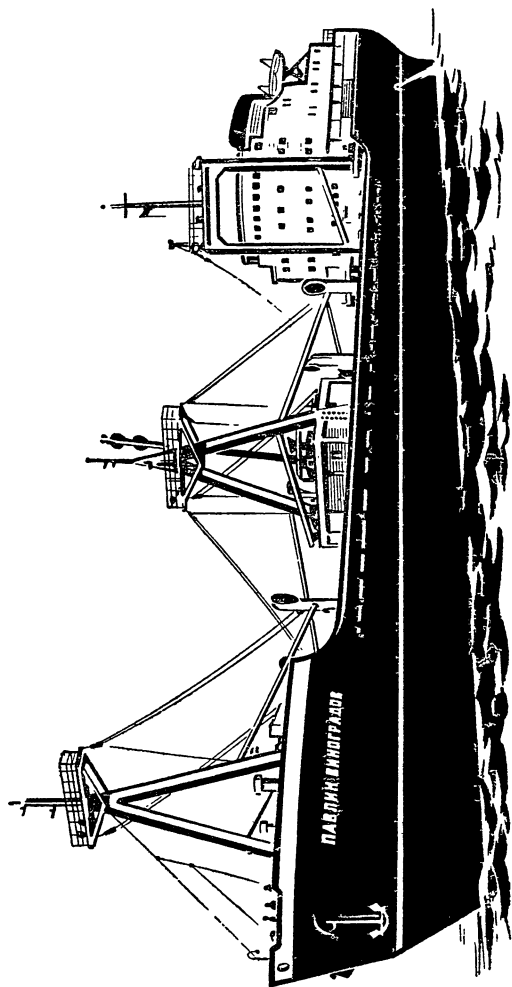


Рис. 6. Лесовоз типа «Павлин Виноградов»

длина — 350 м. Около 35% грузовых судов является наливными. Танкеры перевозят различные сорта нефти, бензин, керосин, серную кислоту, вино, масло и другие жидкости.

Погрузку и выгрузку танкеров производят либо береговыми, либо судовыми насосами.

Поскольку корпус танкера разделен на большое число танков (отсеков), то погрузку и выгрузку можно производить одновременно несколькими насосами, что значительно сокращает время стоянки танкеров в порту. Для выгрузки, например, 10 000 т нефти требуется менее двух часов.

Характерная особенность большинства танкеров — это обратный рейс порожнем. Поэтому для обратного рейса танкеры принимают в грузовые танки большое количество водяного балласта, пользуясь для этого либо грузовыми насосами, либо специальной балластной системой. Перед приходом в порт балласт выкачивают.

Танкеры, перевозящие мазут и другие вязкие нефтепродукты, густеющие в холодную погоду, оборудованы системой трубчатых змеевиков, в которую из паровых котлов пускают пар, разогревающий эти продукты перед выгрузкой.

Котельная установка на танкерах весьма мощная, так как пар требуется и для пропаривания порожних танков перед их зачисткой, когда после темных грузов танкер должен принять светлый груз, например бензин или керосин.

На танкерах необходима мощная противопожарная система. Порожний танк, в котором скапливаются пары нефти, опаснее заполненного бензином. Поэтому во все танки проводят системы парового и углекислотного, или пенного, огнетушения. Для более надежного отделения грузовых танков от других помещений на небольшом расстоянии от крайних — носовой и кормовой — переборок устанавливают вторую переборку. При перевозке бензина пространство между этими переборками (коффердам) заполняют водой.

Машинное отделение на танкерах всегда располагают в корме. В качестве двигателей на них применяются дизели или турбины.

Надводную часть корпуса наливных судов окрашивают в светлые цвета: светло-серый или белый. Эти цвета поглощают мало солнечного тепла. Для охлаждения



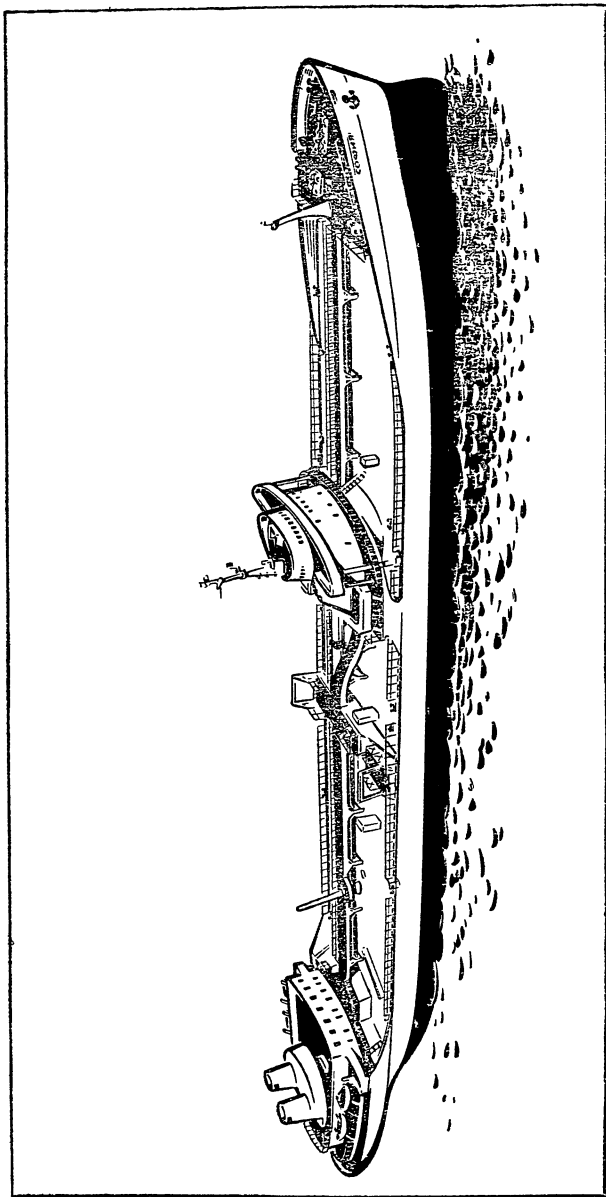


Рис. 7. Танкер типа «София»

палубы на танкерах устанавливают систему водяного орошения.

Для удаления паров нефтепродуктов применяют специальную газоотводную систему.

Танкеры делают двух- или трехстровными. Вдоль всего судна между надстройками на высоте около трех метров над палубой устанавливают переходной мостик. Когда волны перекатываются по палубе, по мостику переходить безопасно. Под мостиком прокладывают трубопроводы и электрокабели.

На рисунке 7 показан советский танкер типа «София». Его длина — 230 м, ширина — 31,0 м, высота борта — 15,4 м, осадка — 11,3 м, водоизмещение — 59 850 т. Его двигатель — паровая турбина мощностью 19 000 л. с.

## РЫБОПРОМЫШЛЕННЫЕ СУДА

Для хозяйственной жизни нашей страны очень большое значение имеет морской и речной промысел. В состав промыслового флота входят разнообразные суда, предназначенные для добычи и обработки рыб различных пород, морского зверя, китов, моллюсков и т. д. Среди этих судов наиболее многочисленны суда, занимающиеся рыбным промыслом.

Рыбопромышленные суда Советского Союза наиболее совершенны по своим качествам и техническому оборудованию. Размеры и водоизмещение этих судов очень разнообразны и зависят от назначения и способа лова. Так, длина наиболее крупных отечественных плавучих рыбоконсервных заводов превосходит 160 м, а их водоизмещение при полной нагрузке достигает 15 000 т; встречаются малые сейнеры (малые рыболовные суда), длина которых менее 20 м, а водоизмещение — несколько десятков тонн.

Описать даже коротко все многообразные типы существующих рыбопромышленных судов не представляется возможным. Остановимся лишь на наиболее многочисленных судах, применяемых для морского и океанического рыболовства, называемых средними рыболовными траулерами (сокращенно СРТ).

Средние рыболовные траулеры (рис. 8) сравнительно небольшие стальные однопалубные суда с кормовой надстройкой или рубкой. Водоизмещение СРТ около 450 т,

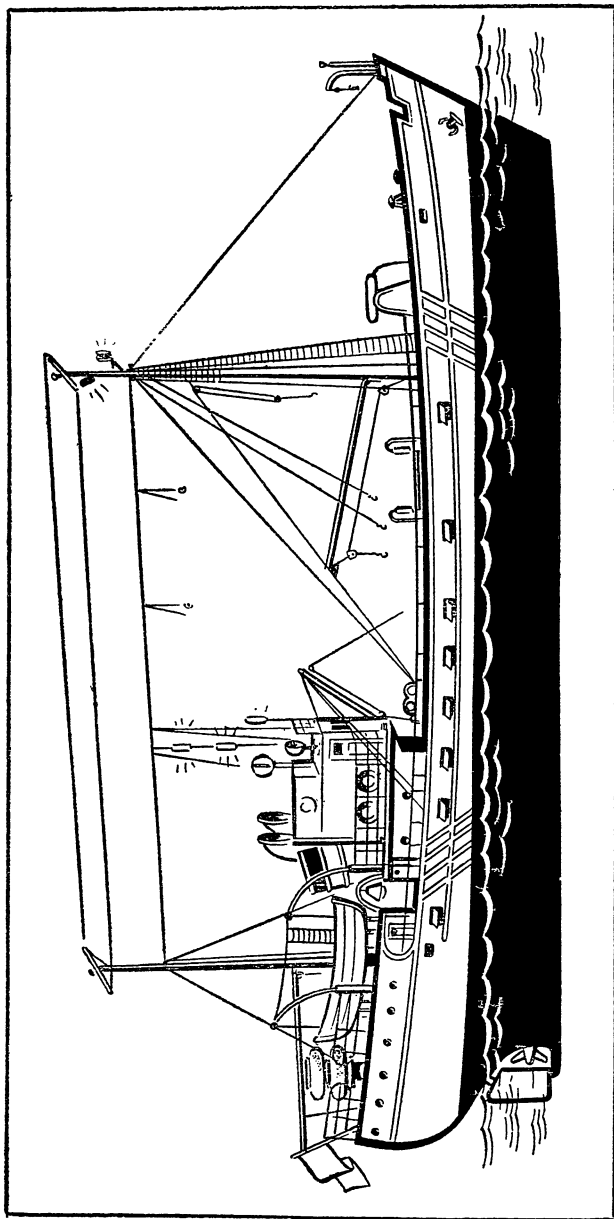


Рис. 8. Средний рыболовный траулер

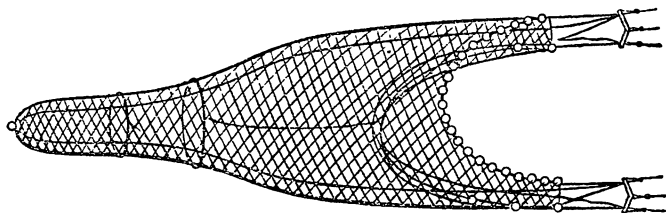


Рис. 9. Рыболовный трал

а длина около 40 м; мощность их двигателей, как правило дизелей, расположенных в кормовой части судна, колеблется от 300 до 400 л. с.

Рыболовные траулеры предназначены для лова глубоководных пород рыб при помощи трала (сети конусообразной формы). Трал (рис. 9) спускают на воду с одного из бортов на двух стальных ваерах (тросах), один из которых расположен в носовой, другой в кормовой части судна (рис. 10). После спуска трала на воду траулеру дают ход вперед и идут по кругу. Одновременно с началом движения судна травят (выпускают) оба ваера, и трал, уходя за корму, погружается в воду.

Чтобы передняя широкая часть трала была широко раскрыта для улавливания рыбы, на ее выступающих вперед концах установлены так называемые распорные доски, а на верхней кромке укреплены деревянные бобенцы (поплавки).

В самом конце узкой части трала находится специальной конструкции крюк с тросом, завязывающим конец трала легко развязываемым узлом.

Для того чтобы из трала выбрать улов, судно останавливают, подтянув трал к борту, поднимают на грузовую стрелу оба конца его широкой части. Когда трал повиснет вертикально над палубой узкой частью вниз, раздергивают узел в конце трала и рыба высыпается на палубу. Распотрошенную и засоленную рыбу складывают пластами в трюмы. На некоторых траулерах в трюмах установлены рефрижераторы.

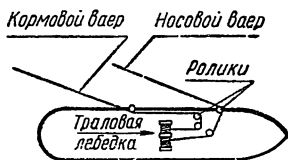


Рис. 10. Схема проводки ваеров

Часто СРТ работают совместно с плавучими базами, которые пополняют их запасами, принимают рыбу и в случае нужды оказывают необходимую техническую и медицинскую помощь. Рейс (плавание) среднего рыболовного траулера продолжается от 20 до 50 суток.

Одна из особенностей условий плавания траулеров — частое изменение их загрузки, а в связи с этим и изменение положения центра тяжести по высоте. Ввиду чего остойчивость этих судов также изменяется.

Уменьшение остойчивости рыболовных траулеров, работающих в северных водах, может происходить и от обледенения их надводной части. Обледенение происходит из-за переохлаждения тумана, обильного мокрого снега, дождя, намерзания брызг морской воды, срывающихся с гребней волн. Борьба с обледенением на рыболовных траулерах сравнительно малых размеров трудна ввиду большой загроможденности их палубы и значительной качки. Поэтому иногда траулерам приходится уходить из района, где им угрожает слишком большое обледенение.

## ЧТО ДЕРЖИТ СУДНО НА ВОДЕ?

### АРХИМЕДОВА СИЛА

Что такое архимедова сила, удерживающая тела на воде, и что ее порождает?

Эту силу порождает сила тяжести воды, окружающей тела, погруженные в жидкость. Верхние слои воды давят на нижние, а давление в жидкости, как известно из закона Паскаля, передается одинаково во все стороны. Следовательно, вода давит и на верхние, и на нижние, и на боковые части тела. Величина же этого давления зависит от высоты столба воды. Чем глубже расположена поверхность тела, тем большее давление испытывает она со стороны жидкости. Вследствие этого сила давления, действующая на нижнюю поверхность тела и направленная вверх, всегда больше силы давления, действующей на верхнюю поверхность тела и направленной вниз. Таким образом, результирующая этих двух сил давления, равная разности, направлена вверх. Эта результирующая и есть архимедова сила.

В сочинении Архимеда «О плавающих телах» в «Предложении 5» сказано: «Тело, более легкое, чем жидкость, будучи в ней помещено, погружается настолько, что вес вытесненной жидкости равен весу тела». А в «Предложении 7»: «Тело, которое тяжелее жидкости, будучи погружено в эту жидкость, идет ко дну и, будучи взвешено в самой жидкости, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость».

Впоследствии эти «Предложения» Архимеда были положены в основу судостроения и получили название закона Архимеда, который можно сформулировать так: тело, погруженное в жидкость, выталкивается кверху с силой, равной силе тяжести вытесненной им жидкости.

То, что сила тяжести судна, плавающего на поверхности воды, равна силе тяжести воды, вытесненной подводной частью судна, становится очевидным из следующего

рассуждения. Мысленно выделим у поверхности воды некоторый ее объем, а затем мысленно же заменим воду в этом объеме корпусом судна (корпус судна в своей нижней части имеет те же размеры и форму, что и выделенный объем воды). Если при этом общее равновесие в воде не нарушилось, то очевидно, что все действующие в ней силы остались теми же, как и до замены объема воды судном. При этом и сила тяжести судна должна быть равной силе тяжести воды, замененной судном, а вертикальное давление окружающей воды на корпус судна должно оставаться таким же по своей величине, как и до замены выделенного объема корпусом судна. Это давление и есть архимедова сила. В судостроении ее называют силой поддержания или силой плавучести. Те же рассуждения могут быть применены и к подводному судну.

## ВЕСОВОЕ И ОБЪЕМНОЕ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ

В судостроении силу тяжести судна обозначают буквой  $D$  и называют весовым водоизмещением. Весовое водоизмещение — основная характеристика судна; оно играет в судостроении важнейшую роль.

Объем вытесненной судном воды, равный объему погруженной части судна, обозначают буквой  $V$  и называют объемным водоизмещением.

Вертикальное расстояние от днища до уровня воды называют осадкой и обозначают буквой  $T$ .

Чтобы до постройки знать силу тяжести готового, загруженного судна, т. е. его полное весовое водоизмещение  $D$ , при проектировании вычисляют силы тяжести всех составных частей корпуса, механизмов и грузов.

Но в судостроении бывает необходимо знать силу тяжести судна, когда заданы лишь различные осадки корпуса, т. е. вертикальные расстояния от днища до уровня воды; иначе говоря, требуется знать весовое водоизмещение при различных объемах погруженной в воду части корпуса.

Эти водоизмещения можно определить, вычисляя силы тяжести соответствующих объемов воды, вытесняемой при заданных осадках. Выражая объем  $V$  в кубических метрах ( $m^3$ ), плотность воды  $\rho$  в килограммах на кубический метр ( $кг/m^3$ ), массу воды  $m$  в килограммах ( $кг$ ), находят силу тяжести воды в данном объеме из равенства:

$$P = 9,8 \frac{H}{кг} \cdot m = 9,8 \frac{H}{кг} \cdot \rho V.$$

где  $P$  — в ньютонах ( $n$ ):

Однако в судостроении при подобных вычислениях в качестве единицы силы тяжести применяют не ньютон, а тонну, вместо плотности  $\rho$  ( $кг/м^3$ ) — величину  $\gamma$  ( $Т/м^3$ ) и называют ее удельным весом. Для пресной воды при температуре  $t=4^\circ C$  удельный вес принимают равным  $1 Т/м^3$ . В этом случае весовое водоизмещение судна равно  $D=\gamma V$ , где  $V$  — объем ( $м^3$ ),  $\gamma$  — удельный вес ( $Т/м^3$ ),  $D$  — весовое водоизмещение ( $Т$ ).

В судостроении равенство  $D=\gamma V$  называют уравнением плавучести. Это уравнение является основным для судостроения; другие уравнения, применяемые в судостроении, служат для вычисления различных качеств судна (скорости хода, поворотливости, плавности качки, прочности и т. п.), уравнение же плавучести относится к самому существованию судна.

Архимедова сила не зависит от формы или, как говорят в судостроении, от обводов подводной части корпуса. Для судов различных обводов, но равных весовых водоизмещений величина архимедовой силы одинакова. Объясняется это тем, что силы давления воды, действуя нормально на площадки симметричного корпуса, расположенные под различными углами к горизонту, в сумме дают равнодействующую, направленную вертикально вверх, величина которой определяется объемом подводной части судна и равна его силе тяжести. Поэтому осадки судов различных обводов, но равных водоизмещений различны. Чем уже или короче судно, тем больше его осадка по сравнению с судном более широким и длинным при том же водоизмещении. Обводы, сужающиеся книзу (рис. 11), называют килеватыми, а борта, расширяющиеся кверху, называют бортами с развалом.

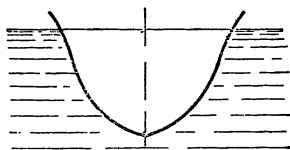


Рис. 11. Килеватые обводы с развалом бортов

## ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ

Водонепроницаемость — первое, основное свойство, которым должна обладать подводная часть корпуса судна, чтобы оно сохраняло плавучесть. Поэтому при постройке судов водонепроницаемости уделяют очень большое вни-



*Наружная поверхность*



Рис 12. Сварной шов стык

из стальных листов, длина которых бывает от 1,2 до 8 м, ширина — от 0,6 до 3 м, толщина — от 0,004 до 0,030 м. Размеры листов наружной обшивки зависят от размеров и назначения судна. Располагают их длинной стороной вдоль судна и соединяют между собой водонепроницаемо, сваривают.

Листы наружной обшивки сваривают стык, благодаря чему наружная поверхность днища и бортов получается гладкой (рис. 12), что очень важно, так как всякий выступ и неровность на обшивке увеличивают сопротивление воды, встречаемое корпусом при движении судна. Это уменьшает скорость хода или требует более мощного двигателя. Листы наружной обшивки для большей прочности и плотности соединения сваривают снаружи и изнутри корпуса.

Во время постройки судна, когда оно стоит на стапеле (открытое сооружение, на котором строят корпус судна; закрытый стапель называется эллингом) и после того как оно спущено на воду, водонепроницаемость проверяют самым тщательным образом: сжатым воздухом, наливом воды, смачиванием соединений керосином и другими способами.

При движении судно испытывает удары, скручивания, изгибания, и, несмотря на прочность конструкции, в обшивке может образоваться течь. Часто причиной аварий и гибели судов является потеря водонепроницаемости при столкновении, посадке на мели и камни, пожаре, а в военное время — при попадании в корпус снарядов, ракет, торпед и при подрыве на минах.

Для откачивания воды, поступающей в корпус, в случае аварии на судах существует так называемая водоотливная система. Это мощные насосы или помпы с механическим двигателем, со сложной сетью трубопроводов, соединяющих насосы со всеми помещениями корабля, и многочисленные ручные переносные насосы — брандспойты. Однако далеко не всегда водоотливная система может откачивать воду так же быстро, как она втекает. Чтобы

мание. Как же обеспечить водонепроницаемость корпуса судна?

Корпус большинства современных судов строят из стали. Наружная обшивка (оболочка) корпуса состоит

прекратить или хотя бы замедлить поступление воды, применяют различные средства для временной заделки отверстий или щелей. Мелкие отверстия и трещины заделывают планками, клиньями или же деревянными или металлическими щитами с винтовыми приспособлениями для их прикрепления к обшивке изнутри судна. Для заделки больших отверстий иногда удается применять деревянные, обитые толстым слоем парусины пластыри (щиты), которыми закрывают отверстие снаружи корпуса; на тросах, опоясывающих судно поперек, такой щит плотно прижимают к обшивке (рис. 13).

### НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ

Но никакие средства восстановления потерянной водонепроницаемости, никакие водоотливные средства в случае значительной течи не спасут судно от гибели, если проникающая в корпус вода будет свободно растекаться по всему кораблю. Чтобы этого не случилось, поперек корпуса судна ставят водонепроницаемые переборки, их крепят к днищу и доводят до верхней палубы, которую тоже делают водонепроницаемой.

Если в водонепроницаемой переборке для какой-либо цели, например для проводки трубы или электропровода, необходимо сделать отверстие, то его снабжают уплотняющим устройством (сальником), закрывающим неплотности между переборкой и пропускаемыми трубой или проводом. Водонепроницаемые двери в переборках делают небольших размеров, на петлях или клинкетными (скользящими вниз и вверх по переборке).

На многих судах в ходовой рубке имеется рычаг, при помощи которого можно в аварийном случае закрыть одновременно все двери в водонепроницаемых переборках судна. Иногда устанавливают водонепроницаемые переборки и вдоль судна, вблизи бортов, чтобы обезопасить его в случае пробоины в борту. На крупных морских судах, кроме наружной обшивки днища, делают внутреннюю обшивку, расположенную на некоторой высоте над наружной и называемую настилом второго дна. Между-

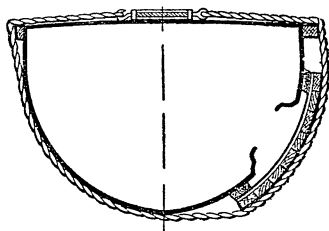


Рис. 13. Установка пластыря

донное пространство также делают водонепроницаемыми переборками, и потому течь в наружной обшивке днища судну не опасна. На танкерах второе дно делают только в районе машинного отделения.

Если течь образуется в отсеке, над которым находится водонепроницаемая или герметическая палуба, то вода будет поступать лишь до тех пор, пока воздух в отсеке не сожмется до давления, равного давлению на поверхности воды в отсеке; в отсеке образуется воздушный пузырь, который будет поддерживать судно на плаву.

Судно, которое при затоплении одного или нескольких отсеков, остается на плаву и при этом не опрокидывается, называется непотопляемым.

Чем меньше объем отсека, тем меньшее количество воды вольтется в него. Однако это не значит, что чем больше на судне водонепроницаемых переборок, тем надежнее оно обеспечено от затопления. При очень большом числе переборок пробойна сможет захватывать несколько отсеков.

Для определения наиболее целесообразного числа и положения водонепроницаемых переборок существуют математические способы, которыми пользуются кораблестроители при проектировании судов. Эти способы учитывают возможные размеры пробоин и позволяют рассчитать осадку, крен и дифферент, которые получит корабль при различных пробоинах. Кроме того, они помогают определить, какие отсеки следует затопить, чтобы спрямить корабль. Результаты этих вычислений в виде таблиц, которыми можно быстро и удобно пользоваться даже в условиях боя, имеются на каждом боевом корабле. Эти таблицы носят название таблиц непотопляемости. Как правило, непотопляемостью обладают боевые корабли, морские пассажирские, буксирные, ледокольные и спасательные суда. Некоторые спасательные суда строят так, чтобы, будучи полностью залиты водой, они оставались на плаву. Чтобы создать непотопляемость мелким судам, например прогулочным катерам, шлюпкам, под сиденьями или в других местах делают водонепроницаемые, называемые воздушными, ящики; их объем рассчитывают таким, чтобы судно, залитое водой до верхней кромки бортов, не тонуло даже с пассажирами, сидящими на своих местах.

## ЗАПАС ПЛАВУЧЕСТИ

В жизни каждого судна могут возникнуть такие обстоятельства, при которых оно вынуждено будет принять груза больше, чем это ему положено по расчету. Например, оказывая помощь гибнущему кораблю, оно должно принять оказавшихся в беде пассажиров и команду, или же, получив пробоину, прежде чем она будет обнаружена и заделана, судно примет какое-то количество воды. Во всех этих случаях судно погрузится, или, на морском языке, сядет больше, чем ему положено по расчету. Если при этом вблизи над уровнем воды в корпусе окажутся отверстия, например иллюминаторы (круглые окна), то хлынувшая через них вода может затопить судно. Поэтому корпус всякого судна должен сохранять водонепроницаемость и при погружении, несколько большем расчетного. Линия, по которой уровень воды соприкасается с корпусом, называется ватерлинией. Судно может иметь множество ватерлиний, в зависимости от нагрузки. Ватерлинию при полной нагрузке у транспортных судов называют грузовой ватерлинией. Ватерлинию при полной нагрузке военных кораблей называют конструктивной ватерлинией. Грузовая ватерлиния наносится краской вдоль обоих бортов по всей длине судна. Для контроля за безопасной высотой надводного борта транспортных судов по середине длины судна на обоих бортах наносят (накрашивают) грузовую марку (рис. 14).

Грузовая марка состоит из окружности («круга Плимсоля») с пересекающей ее горизонталью, двух вертикалей (справа и слева от окружности к носу и к корме) и ряда марок (перпендикуляров) к ним, обозначенных буквами, показывающих наибольшую допустимую осадку судна при различных условиях плавания: зимой — З, летом — Л (в соленой воде), зимой в Северной Атлантике — ЗСА, в тропиках в соленой воде — Т, в пресной воде — П, в тропиках в пресной воде — ТП. Слева от круга, горизонтальные линии указывают осадку судов, перевозящих лес, на них стоит дополнительно буква Л. Горизонталь, пересекающая круг, совпадает по вы-

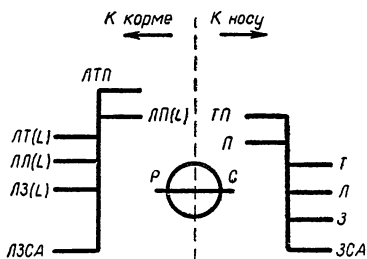


Рис. 14. Грузовая марка

соте с ватерлинией судна, на ней ставят буквы Р и С, обозначающие, что грузовая марка нанесена по Правилам Регистра СССР.

Для быстрого определения глубины погружения судна на носу и корме ставят «марки углубления», которые представляют собой ряд римских или арабских цифр, расположенных по вертикали, указывающих углубление от киля до данной марки.

Все отверстия, в том числе и иллюминаторы, расположенные над грузовой ватерлинией, делают водонепроницаемо-задраиваемыми. На уровне предельной осадки, при которой судно еще сохраняет свою плавучесть, делают водонепроницаемую палубу, простирающуюся по всей длине корпуса. Отверстия в этой палубе, например люки, имеют водонепроницаемо-закрывающиеся крышки, чтобы не допустить проникновения воды в корпус через палубу, например в сильный шторм, когда волны обрушиваются на палубу через борт. Водонепроницаемый объем корпуса, заключенный между грузовой ватерлинией и водонепроницаемой палубой, носит название запаса плавучести. Этот объем на сухогрузных судах составляет обычно 25—50% водоизмещения, на наливных — 10—25%, а на океанских пассажирских судах — лайнерах запас плавучести доходит до 200%. Пока водонепроницаемая палуба остается над водой, судно сохраняет свою плавучесть.

Казалось бы каждому, кто хоть немного знаком с условиями жизни судна, совершенно ясно первостепенное значение запаса плавучести и тщательное его сохранение. И все-таки случаи аварий и гибели судов из-за недооценки запаса плавучести или из-за небрежного отношения к нему многочисленны.

Вот один из таких случаев. В начале XX века кораблестроение в России было еще настолько слабо развито, что русское правительство, нуждаясь в боевых кораблях, часто покупало за границей суда торгового флота, с тем чтобы, вооружив, вводить их в строй в качестве боевых кораблей.

Так было и с довольно старым к тому времени германским пассажирским пароходом «Виктория-Луиза». В 1904 году русское правительство купило этот пароход, с тем чтобы, установив мелкокалиберные пушки, отремонтировав и переименовав в «Кубань», превратить его в боевой крейсер.

Для окраски подводной части корпуса пароход был введен в док (прибрежное или плавучее ящикообразное сооружение, заполняемое водой и осушаемое; служит для ремонта, окраски и т. п. работ в подводной части корпуса) крупного Либавского (ныне Лиепайского) порта. Поскольку судно стояло в доке, было решено одновременно с окраской корпуса, окрасить и бункера (на гражданских судах угольные ямы называют бункерами). Пароход был пассажирским, и погрузка угля через горловины в палубе причиняла бы пассажирам беспокойство и загрязняла бы палубу угольной пылью, поэтому на «Виктории-Луизе» для погрузки угля в бортах против бункеров на метр ниже палубы и немного выше грузовой ватерлинии были сделаны лац-порты (большие прямоугольные, водонепроницаемо-задраиваемые вырезы). При окраске бункеров для их быстрой просушки лац-порты держали открытыми. Когда окраска подводной части корпуса была закончена, решили, чтобы напрасно не занимать дока, вывести судно на воду и остальные работы выполнить на плаву.

В док начали напускать воду, убрали батопорт (переднюю плавучую стенку дока, отделяющую камеру дока от моря), и судно, отделившись от киль-блоков (подкладок под килем), всплыло, но тут же внезапно накренилось на левый борт на 5—6°. При этом угле крена лац-порты, по недосмотру главного инженера порта и командира крейсера оставшиеся открытыми, черпнули воду и бункера левого борта оказались залитыми. Если бы судно стояло на свободной воде, то после накренения, совершив два-три колебания, оно остановилось бы с креном вдвое меньшим первоначального. При крене же в 2½—3° нижняя кромка лац-портов находилась бы выше уровня воды. Но случилось другое. Одну из распорок правого борта, удерживавших судно в прямом положении в доке, вовремя убрать матросы не успели. Когда судно кренилось на левый борт, распорка, оказавшаяся свободной, соскользнув вниз, уперлась одним концом в стенку дока, другим — в борт судна и не давала «Кубани» спрямиться после первого накренения. Поэтому через лац-порты левого борта вода продолжала поступать в бункера, оттуда она перетекла в котельное, а затем и в машинное отделение левого борта. Крен все возрастал, и, наконец, крейсер лег верхней кромкой борта на стенку дока, затем оперся днищем на киль-блоки и, соскользнув с них, лег боковым килем на дно дока. Таким образом крейсер «затонул» в доке,

имея крен 25—30°. К счастью, человеческих жертв не было.

Впоследствии специальная комиссия выяснила причину крена. Оказалось, что, когда крейсер стоял в доке, один из паровых котлов правого борта держали для различных надобностей все время под парами, расходуя на это уголь и пресную воду из бункеров и цистерн правого борта. В то же время уголь и вода, хранившиеся у левого борта, оставались нетронутыми; всплыв, крейсер оказался загруженным несимметрично, отчего и накренился влево.

Операции по спасению затонувшего судна были несложны: завели на свое место батопорт, выкачали из дока воду, выровняли нагрузку судна, задраили лац-порты, вновь напустили в док воду, и судно, всплыв на этот раз в вертикальном положении, благополучно было выведено на чистую воду.

### ПРИМЕР БОРЬБЫ ЗА СОХРАНЕНИЕ ПЛАВУЧЕСТИ

К счастью, моряки, как правило, хорошо знают свое дело, не теряются в трудные минуты, спокойно и мужественно борются за сохранение своего корабля и спасают его порой от, казалось бы, неизбежной гибели. История русского и советского флота особенно богата примерами поразительного хладнокровия, умения, смелости, расторопности и героического поведения экипажей, отдающих свою жизнь в борьбе с опасностью, грозящей кораблю.

Вот один из таких примеров, рисующих не только самоотверженность русских моряков, но и умелое использование средств сохранения плавучести и непотопляемости, нарушенных при тяжелой аварии, грозившей в случае растерянности экипажа затоплением корабля.

В первых числах ноября 1916 года отряд русских кораблей, состоявший из броненосных крейсеров «Рюрик» и «Баян», линейного корабля «Андрей Первозванный» и четырех миноносцев, составлявших охранение линкора, шел из Свеаборга в Кронштадт. Головным шел «Рюрик». В 9 ч 15 мин вечера почти под форштевнем (носовое продолжение киля, поднимающееся почти вертикально до палубы) «Рюрика» раздался сильный взрыв, и два столба воды с обоих бортов взметнулись до высоты верхнего ходового мостика (основного поста управления кораблем на ходу). В машину с мостика пошла команда «стоп», но

«Рюрик», шедший со скоростью 15 узлов (около 28 км/ч), по инерции продолжая идти, развернулся носом влево. На корабле пробили водяную тревогу (сигнал для вызова экипажа на места боевого расписания), и экипаж разбежался по своим местам.

Прежде всего надо было выяснить, насколько велики повреждения в носовом отсеке. В отсек спустились старший офицер (старший помощник командира корабля) и трюмный инженер-механик (офицер, ведущий водотливной, пожарной и другими системами корабля). Перед ними предстала ужасная картина разрушения: киль и нижняя часть бортов на участке от форштевня до второй носовой переборки отсутствовали. Было приказано приступить к установке подпорок для укрепления всех носовых переборок, оставшихся неповрежденными. Надо было проверить, нет ли повреждений в других частях корабля, и трюмный инженер-механик поспешил к своему командному трюмному посту. Запросив по телефону прежде всего машинное отделение и получив донесение, что там все в порядке, он связался с носовой подачей (помещение механизма, подающего снаряды из погреба к носовым орудиям). Там вода уже проникала на броневую палубу через отверстие разобранной для ремонта помпы. Трубу помпы и все трубы вентиляторов забила деревянными пробками. Далее трюмный инженер-механик осмотрел носовую часть жилой палубы. Силой взрыва здесь оказалась сорванной крышка люка, через который могла бы проникнуть вода в случае погружения носа. Пришлось ставить подпоры на крышку люка и задраивать двери в водонепроницаемых переборках. Опасаясь распространения воды в носовое котельное отделение, что могло бы потребовать загасить огонь в котлах, трюмный инженер-механик распорядился поднять пар во всех котлах корабля. Обследовав затем люки в шкиперских (кладовых, в которых хранятся якорные цепи, тросы, флаги, блоки и т. п.), через которые уже стала проникать вода, он приказал и на их крышки поставить подпоры. В это время донесли, что через переборку перед отделением шпильевой машины (вертикального ворота для подъема якоря) стала просачиваться вода. Переборку пришлось дополнительно подкреплять, чтобы ее швы не разошлись. Часть газов от взрыва мины, скопившихся в носу, успела распространиться во многие носовые отделения, и люди, работавшие там, стали терять сознание. Сознание потерял и трюмный



инженер-механик. Придя в себя после оказанной ему помощи, он вновь продолжил осмотр носового отделения. В шпилевом отделении собралось много воды, несмотря на подкрепление переборки. Эту воду пришлось спускать в междудонное пространство, а оттуда откачивать за борт трюмной помпой. Подсчитав количество воды, принятой кораблем, трюмный инженер-механик нашел, что оно не превышает 500 т и потому нет надобности пускать в ход мощные водоотливные турбины; ввиду отсутствия крена перекачивание воды с одного борта на другой также не требовалось. Это говорило о том, что крепления переборок и люковых крышек держат достаточно хорошо. Все же трюмный инженер-механик продолжал держать под наблюдением носовые помещения. В жилом отделении он обнаружил, что через открытый люк верхней шкиперской заметно просачивание воды из-под люка броневой палубы; люк пришлось задрать.

Все действия трюмного инженера-механика были разумны, своевременны и действенны. Люди трюмной команды, несмотря на опасность отравления газами, работали четко, быстро и с большим умением.

Не менее решительно и расторопно действовал и минный инженер-механик. По сигналу тревоги он занял свой пост и приказал включить все динамо-машины на случай, если какая-либо из них выйдет из строя; все помпы, чтобы любой из них можно было воспользоваться без промедления; разобщить междудонные отсеки, в которых находилась пресная вода для питания паровых котлов: течь в одном из них могла бы дать доступ соленой воде к котлам. Заметив, что из переговорной трубы в шпилевое отделение просачивается удушливый газ, он распорядился закрыть ее пробкой. Получив донесение о том, что под правой машиной появилась вода, минный инженер-механик приказал откачать воду брандспойтами. Из котельного отделения пришло донесение, что переборка у шпилевого отделения в районе, прилегающем к канатному ящику (помещение, где хранятся цепи главных якорей), стала прогибаться. Пришлось подкрепить ее дополнительно подпорами. Донесения о появляющейся воде непрерывно следовали одно за другим, и по каждому из них надо было немедленно отдавать единственно правильное приказание. Для этого необходимо в совершенстве знать не только свой корабль, но и все средства, которыми он располагает для сохранения плавучести.

Четко и умело действовал водолазный инженер-механик. Он осмотрел котельные отделения, угольные ямы, проверил междудонные пространства под ними. Спустившись через броневую палубу в арсенал (кладовая артиллерийских запасных приспособлений), он убедился, что оттуда, так же как и из междудонного пространства, откачивать воду нет надобности.

В 9 ч 48 мин, т. е. через 33 мин после взрыва мины, трюмный инженер-механик доложил командиру корабля, что все меры, необходимые для сохранения корабля на плаву, приняты и что кораблю можно дать ход.

Сначала «Рюрик» дал самый малый ход назад (5,5 км/ч). Развернувшись, он стал в кильватер (за корму) «Баяну», миноносцы возле «Рюрика», возглавил отряд «Андрей Первозванный», и корабли пошли со скоростью 8 узлов (около 15 км/ч).

Теперь можно было подвести итоги аварии. Заполненными водой оказалось всего десять из нескольких сот помещений корабля. Корабль принял лишь 500 т воды, что, конечно, никакой опасности при водоизмещении 17 000 т не составляло. «Рюрик» получил дифферент на нос 0,70 м вместо прежнего дифферента на корму 0,05 м.

Специальная комиссия, назначенная для расследования аварии «Рюрика», в своем заключении отметила, что личный состав механической специальности по трюмной части, отлично обученный трюмным инженером-механиком, знавшим корабль в совершенстве, прекрасно справился со своей задачей.

## ПОДВОДНЫЕ СУДА

До сих пор мы говорили о судах надводных, плавающих только на поверхности воды. Посмотрим теперь, как используют действие архимедовой силы для судов, плавающих не только на поверхности воды, но и под водой (для подводных лодок). Подводная лодка должна иметь возможность плавать на поверхности воды, погружаться под воду, всплывать и, находясь под водой, изменять глубину погружения.

У подводных лодок, так же как и у надводных судов, соблюдается равенство между силой тяжести воды, вытесняемой корпусом лодки (архимедовой силой), и силой тяжести лодки со всеми находящимися на ней грузами. Запас плавучести подводных лодок в зависимости от их

конструкции составляет от 15 до 50% от их водоизмещения в надводном положении. Чтобы погрузиться под воду, лодка должна свести свой запас плавучести к нулю. Для этого она набирает в балластные цистерны, расположенные внутри или снаружи корпуса, количество воды, объем которой равен запасу плавучести. Чем больше запас плавучести, тем больше объем и высота надводной части корпуса, что делает судно более мореходным, т. е. более приспособленным для плавания по взволнованной поверхности воды. Однако бóльший запас плавучести увеличивает сопротивление, встречаемое лодкой при движении ее в подводном положении. А чем больше сопротивление, тем более мощными должны быть двигатели; кроме того, чем больше запас плавучести, тем большее количество воды надо принять в балластные цистерны для погружения лодки и тем продолжительнее процесс погружения. Чтобы ускорить погружение и всплытие лодки, на ней делают возможно большее число балластных цистерн, каждая со своим устройством для приема и выпуска воды, называемым кингстоном затопления.

После того как объем воды в балластных цистернах станет в точности равным запасу плавучести, лодка скроется под водой, но будет находиться у ее поверхности. Чтобы погрузиться глубже, она принимает воду в специальную цистерну, называемую цистерной быстрого погружения. Когда лодке требуется быстро уйти на значительную глубину, приходится прибегать не к гидростатической, а к гидродинамической силе, появляющейся только при ходе лодки. Эта сила развивается на горизонтальных рулях (рулях глубины), установленных с обоих бортов лодки в носовой и кормовой частях корпуса. Эти рули можно поворачивать вокруг осей, расположенных поперек лодки (рис. 15). Руль глубины, положенный (повернутый) на некоторый угол по отношению к горизонту и движущийся вместе с лодкой, испытывает на верхней и ниж-

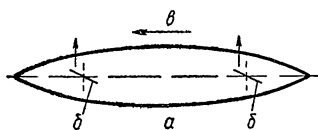


Рис. 15. Схема расположения рулей глубины:

$a$  — корпус лодки,  $b$  — рули глубины,  $v$  — направление движения лодки

ней поверхностях различные по своей природе и величине силы. Эти гидродинамические силы направлены вверх или вниз, смотря, какая кромка руля выше: передняя или задняя. Если передняя, то силы будут направлены кверху, если задняя, то

книзу. Если носовые рули отклонить передней кромкой книзу, а кормовые передней кромкой кверху, то на носовых рулях возникнет сила, направленная книзу, а на кормовых — кверху. Эти силы, отклонив нос лодки книзу, а корму кверху, заставят лодку быстро пойти на погружение. Когда лодка достигает заданной глубины, углы отклонения рулей уменьшают, отчего лодка пойдет горизонтально. Чтобы уменьшить глубину погружения, носовые рули отклоняют передней кромкой кверху, а кормовые — книзу. Для перехода из подводного положения в надводное лодка должна выбросить воду, принятую в балластные цистерны, для чего в цистерны вдувают воздух, сжатый до высокого давления, и одновременно открывают кингстоны затопления.

Обшивку корпуса подводной лодки делают из листов стали возможно более тонкой, лишь бы она выдерживала давление воды, когда лодка идет под водой. Чем толще обшивка, тем больше сила тяжести лодки, и, чтобы уравновесить ее архимедовой силой, надо увеличить объем корпуса, что увеличит сопротивление лодки на ходу.

Подводную лодку в надводном положении условно считают непотопляемой, если, получив пробоину в одном отсеке, она может сама дойти до своей базы. Непотопляемостью же лодки в подводном положении называют ее способность с затопленным отсеком всплыть на поверхность воды. Непотопляемость как в надводном, так и в подводном положениях создается почти только за счет запаса плавучести. Создать непотопляемость на лодках даже с большим запасом плавучести очень трудно. Большая часть маленьких лодок непотопляемостью не обладает.

Современные подводные лодки, которые могут плавать в любых морях и океанах земного шара, совершать переходы подо льдами Арктики, имеют четырехсотлетнюю историю, увлекательную, порой трагичную и весьма поучительную. Сотни изобретателей и конструкторов самых различных профессий на пути создания более совершенного подводного судна проявили мужество, необыкновенное упорство, негибкую волю и преданность своей идее. Как ни велики заслуги создателей подводных лодок конца XVI—XIX вв., но подводное плавание стало реально возможным лишь после изобретения электромоторов и аккумуляторов, позволивших перейти от мускульных двигателей к таким механическим, которые не поглощают ки-

слорода, существенно не меняют веса лодки и не выделяют вредных для дыхания газов.

Как надводные, так и подводные суда, о которых мы говорили до сих пор, плавают благодаря архимедовой силе.

### ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ И АЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ПОДЪЕМНЫЕ СИЛЫ ПРИ ДВИЖЕНИИ СУДНА

Силы, которые возникают в воде (в воздухе) при движении тела, называют гидродинамическими (аэродинамическими) в отличие от сил гидро- или аэростатических, существующих соответственно в воде или воздухе всегда.

Есть суда, для которых гидростатическая архимедова сила играет вспомогательную роль. Эти суда поддерживаются только ею практически лишь тогда, когда они стоят на месте или идут с малой скоростью. На больших же скоростях хода на поверхности воды их удерживают динамические силы. К таким судам относятся суда глиссирующие, с подводными крыльями, на воздушной подушке. Познакомимся с ними.

**Глиссирующие суда.** Суда, у которых при движении на больших скоростях, благодаря особым обводам днища (рис. 16), под днищем возникает гидродинамическая подъемная сила, направленная вверх и удерживающая судно у поверхности воды, называют глиссерами<sup>1</sup>.

Днище глиссера расположено наклонно к поверхности воды, и при большой скорости хода благодаря гидродинамической силе оно как бы взбирается на те частицы воды, которые не успевают ввиду своей инертности расступиться перед днищем вниз или в стороны. Поэтому осадка глиссера на ходу гораздо меньше, чем на стоянке, а объ-

ем его корпуса, погруженный в воду, незначителен. Но как только скорость хода заметно падает, гидродинамическая сила уменьшается, глиссер «проваливается» и

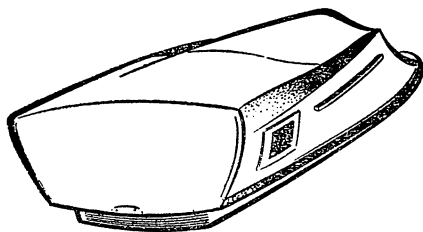


Рис.16. Обводы днища глиссирующего судна

<sup>1</sup> По-французски «глиссе» — скользить.

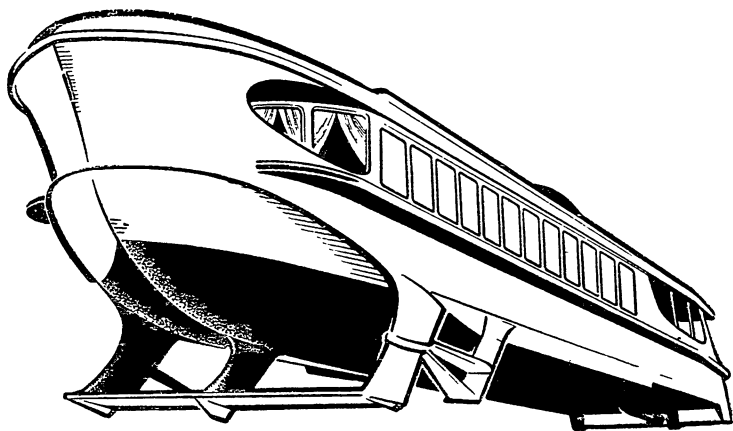


Рис. 17. Судно с подводными крыльями

становится судном водоизмещающим. Поэтому глиссирующие суда должны иметь запас плавучести и обладать непотопляемостью. Для этого на крупных глиссерах делают водонепроницаемые переборки, на мелких — герметические воздушные ящики.

Гидродинамическая подъемная сила глиссера зависит от скорости хода судна, от угла наклона днища к уровню воды (угла атаки), от длины части днища, соприкасающейся с водой, от положения центра тяжести глиссера по длине. Все эти величины при движении судна могут изменяться, отчего может изменяться как величина, так и положение точки приложения гидродинамической силы. В этом случае глиссер на ходу то немного всплывает, то погружается в воду. Но даже на самых больших скоростях хода часть корпуса глиссера остается погруженной в воду, и потому на судно действует архимедова сила. С увеличением гидродинамической силы архимедова сила уменьшается и, наоборот, с уменьшением гидродинамической силы архимедова сила увеличивается, благодаря чему вертикальные и угловые колебания судна становятся меньше.

**Суда с подводными крыльями.** Судно с подводными крыльями (рис. 17) удерживается у поверхности воды только архимедовой силой, пока оно стоит или идет с малой скоростью. По мере роста скорости хода на днище крылатого судна, так же как и у глиссера, создается гид-

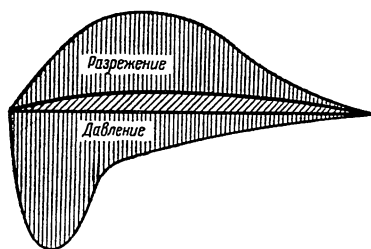


Рис. 18. Распределение давления и разрежения на подводном крыле

чем происхождение подъемной силы глссера. Частицы потока воды, обтекающие верхнюю, выпуклую поверхность крыла, проходят путь больший, чем частицы, движущиеся под нижней прямолинейной поверхностью. Поэтому скорость потока жидкости над крылом больше. С увеличением скорости потока давление в нем падает (закон Бернулли) и над верхней поверхностью крыла образуется разрежение (давление меньше атмосферного). Под нижней прямолинейной поверхностью крыла обтекающий ее встречный поток создает давление, как и у глссера, направленное кверху. Разрежение над верхней и давление под нижней поверхностями в сумме создают гидродинамическую подъемную силу крыла, которая растет с увеличением скорости хода судна. При некоторой скорости хода сумма подъемной силы крыла и сил, действующих на днище (гидродинамической и архимедовой), становится больше силы тяжести судна. От этого оно приобретает некоторую вертикальную скорость, поднимается, выходит из воды, как говорят «выходит на крылья», и движется на определенной высоте горизонтально, когда устанавливается равновесие между подъемной силой и силой тяжести.

Если судно, идя только на крыльях, и дальше будет увеличивать свою скорость, то растущая при этом подъемная сила может поднять судно настолько, что крылья приблизятся непосредственно к поверхности воды. Тогда атмосферный воздух проникнет в область разрежения (над верхней поверхностью крыла), разрежение исчезнет, подъемная сила значительно уменьшится, корпус судна сядет на воду.

Подводные крылья, расположенные поперек судна, представляют собой тонкие пластины, нижняя поверх-

родинамическая подъемная сила, постепенно уменьшающая его осадку. Одновременно с этим на крыльях, расположенных под днищем с некоторым углом наклона к горизонту, появляется и растет со скоростью хода судна гидродинамическая подъемная сила, происхождение которой частично иное,

ность которых плоская, а верхняя — выпуклая (рис. 18). Передняя и задняя кромки крыльев очень острые. Крылья соединены с корпусом при помощи тонких стоек, на которых они укреплены так, что их передняя кромка выше задней.

Когда судно с подводными крыльями идет на полной скорости, погруженными в воду остаются крылья, стойки, к которым они прикреплены, гребные винты и валы, на которые они насажены, стойки, поддерживающие эти валы (эти стойки называются кронштейнами), и рули. Все эти детали испытывают со стороны воды значительное сопротивление, однако меньшее, чем сопротивление движущегося в воде водоизмещающего или глиссирующего корпуса. В этом заключается основное преимущество судов с подводными крыльями.

**Суда на воздушной подушке.** Эти суда получили такое название потому, что на ходу они соприкасаются с водой не непосредственно, а через вертикальный поток воздуха, называемый воздушной подушкой. При движении этих судов ни одна их деталь не погружена в воду. Суда на воздушной подушке парят на небольшой высоте над поверхностью воды, и поддерживающая их сила создается не водой, а давлением сжатого под днищем воздуха, нагнетаемого специально установленными на судне мощными вентиляторами, выбрасывающими поток воздуха под днище судна.

На стоянке судно на воздушной подушке является водоизмещающим и поддерживается на воде архимедовой силой. С началом работы вентиляторов давление воздуха под днищем возрастает и судно уменьшает свою осадку. Если сумма сил давления воздуха под днищем и архимедовой станет больше силы тяжести судна, корпус полностью выйдет из воды.

С увеличением количества воздуха, нагнетаемого под днище, растет давление в воздушной подушке, вследствие чего судно поднимается все выше.

На определенной высоте для данной скорости хода судно «повиснет» в воздухе над водой, когда установится равновесие между силами тяжести и давления в подушке.

Однако давление в воздушной подушке не остается постоянным, так как часть нагнетаемого воздуха уходит за пределы днища. С увеличением высоты подъема судна утечка воздуха из подушки возрастает, что задерживает рост давления под днищем.



Чтобы уменьшить утечку воздуха, сопла располагают по периметру днища, благодаря чему вокруг подушки создается воздушная завеса. Применяют и другие способы уменьшения утечки.

Суда на воздушной подушке являются (сравнительно с водоизмещающими и глиссирующими) новыми и немногочисленными. Устройства существующих судов на воздушной подушке весьма разнообразны. Для сообщения поступательного движения на этих судах устанавливают пропеллеры (воздушные, самолетного типа винты) либо направляют поток воздуха, нагнетаемый вентиляторами, под днище не вертикально, а под некоторым углом к вертикали.

На рисунке 19 схематически показан разрез судна на воздушной подушке, имеющего в плане круглую форму: *а* — вентилятор, создающий воздушную подушку; *б* — канал, по которому поток воздуха направляется в полости *в* под днище *г*, под которым создается воздушная подушка *д*; частично поток выходит за пределы судна в направлениях *е*. Для поступательного движения судна служит пропеллер *ж*.

При движении эти суда встречают лишь сопротивление воздуха, значительно меньшее сопротивления воды, ввиду чего они могут развивать очень большую скорость. Кроме того, они могут выходить на ровную, слегка наклонную береговую площадку (платформу), ходить над болотом,

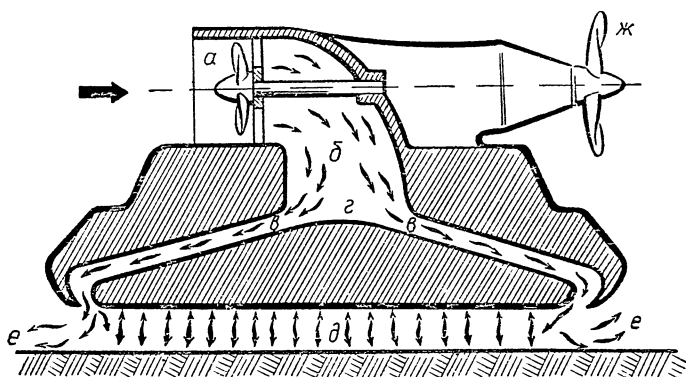


Рис. 19. Продольное сечение судна на воздушной подушке

по мелководью, снегу, льду. Стоянка судна на берегу — большое удобство, так как не требует для осмотра и ремонта ввода судна в док и предохраняет подводную часть корпуса от обрастания ракушками и другими морскими «вредителями». Но суда на воздушной подушке не могут преодолевать значительных препятствий, так как подъем на значительную высоту требует из-за увеличения утечки воздуха очень большой мощности вентиляторов.

Первые обоснования принципа движения на воздушной подушке были даны гениальным русским ученым К. Э. Циолковским в 1927 году.

## ИЗ ИСТОРИИ СУДОСТРОЕНИЯ

Не скоро судостроители дошли до тех простых истин, которые нам теперь кажутся очевидными. Лишь после многих аварий и гибелей кораблей судостроители стали вычислять водоизмещение будущего судна, научились создавать водонепроницаемость корпуса, обеспечивать непотопляемость, придавать запас плавучести. Надо было не только найти меры, необходимые для безопасности судна, но и создать средства и способы их осуществления. Однако многие нововведения часто встречали противодействия. Так, например, в начале XIX века, когда все суда строили из дерева, отверстия в бортах (например, пушечные порты) необходимо было окантовывать наличниками. Наличники крепили к обшивке корпуса металлическими болтами, лишние концы длинных болтов срубали при помощи зубил и тяжелых молотов. От сильных ударов стыки и пазы досок обшивки (поперечные и продольные кромки досок) расходились, и их нужно было повторно конопатить. Но эта вторичная операция обычно не давала необходимых результатов: через непродолжительное время службы корабля в обшивке образовывались щели, что сокращало срок годности корпуса. Надо было найти способ, заменяющий срубку болтов. Талантливый кораблестроитель Иван Петрович Амосов предложил спиливать болты сконструированной им пилой в виде диска. Испытания показали очевидное преимущество нового способа, но адмиралтейств-коллегия, рассматривавшая предложение Амосова, несмотря на лестный отзыв главного командира Кронштадтского порта, отклонила нововведение. Тем не менее на кораблях, постройка которых велась под руко-

водством Амосова, стали применять спиливание болтов. Последующие годы показали, что срок службы этих кораблей существенно продлен.

В 1697 году Петр I отправился с посольством в Голландию. Работая плотником на верфи, Петр хорошо изучил все практические приемы постройки судов. Однако голландские судостроители в то время не умели теоретически обосновывать свой опыт. Обнаружив это, Петр уехал в Англию, где теория судостроения стояла уже достаточно высоко. Пребывание в Англии позволило Петру научиться вникать в сущность основных вопросов, связанных с судостроением. Он понимал, что хорошим судостроителем может быть лишь тот, кто в состоянии освоить теоретические знания и применять их на практике. С тех пор для русских кораблестроителей характерным стало теоретическое осмысливание практического опыта. Большинство талантливых судостроителей были хорошими математиками; многие из них создали научные труды.

История кораблестроения в России знает имена талантливых строителей не только надводных, но и подводных судов. Первым русским изобретателем и строителем подводного судна был Ефим Прокофьевич Никонов. В двадцатых годах XVIII столетия молодой неграмотный крестьянин из Подмосковья Ефим Никонов осуществил первую в России попытку построить судно для подводного плавания. Петр I, которому Никонов подал «челобитную», повелел строить «потаенное судно», и в 1724 году состоялось его первое испытание.

При погружении судна в нем находился только Никонов. Лодка, погрузившись в воду слишком быстро, ударилась о грунт и потеряла свою водонепроницаемость. Лодку удалось быстро поднять и тем спасти ее изобретателя.

При втором испытании, уже после смерти Петра I, судно Никонова трижды опускалось под воду, но вынуждено было всплывать из-за потери водонепроницаемости. В третий раз судно испытывалось в 1727 году, и, по-видимому, по той же причине испытания не дали ожидаемых результатов, после чего Никонов был фактически сослан в Астрахань. О дальнейшей судьбе Ефима Никонова ничего не известно. Таким образом, причиной неудачи Никонова явилось неумение создать необходимую водонепроницаемость корпуса лодки. Первейшее свойство судового корпуса — его водонепроницаемость всегда была очевидна судостроителям. Но как ее достичь?

Еще в начале XIX века деревянные корабли гнили на глазах моряков, а средств предохранения от гнили не было. В 1825 году некоторые части корпуса русского корабля «Азов» покрыли известью. Осмотр корабля через пять лет показал, что части, окрашенные масляной краской, сгнили, а покрытые известью остались невредимыми.

В начале тридцатых годов XIX века русский изобретатель подводных лодок К. Г. Чарновский в своем проекте металлической подводной лодки предполагал обшивать внутреннюю поверхность корпуса двумя слоями сыромятной кожи, поверх которых укладывать настил из яловых кож. В 1839 году в Петербурге был спущен на воду крупнейший в те времена 120-пушечный корабль «Россия». Чтобы обеспечить водонепроницаемость его деревянного корпуса, вся внутренняя поверхность подводной части корпуса была вручную покрыта мастикой из смолы и толченого мела. Это была очень трудоемкая, дорогостоящая работа. Но другие материалы и способы создания водонепроницаемости тогда еще были недоступны.

В далекие времена, когда мореплаванием занимались только купцы — «торговые люди», тот, кто хотел плавать, должен был уметь сам строить суда. Каждый мореплаватель был одновременно и судостроителем. Суда строили не из заранее заготовленных специальных материалов, а из сырого, подручного леса. Никаких чертежей, никаких расчетов и тем более науки судостроения не было. Умение давалось тяжелым опытом, а приобретенные познания держались в секрете и изустно передавались сыновьям, внукам, правнукам. Знакомясь с устройством судов тех времен, поражаешься смелости мужественных мореходов, отправлявшихся в далекие плаванья на таких судах.

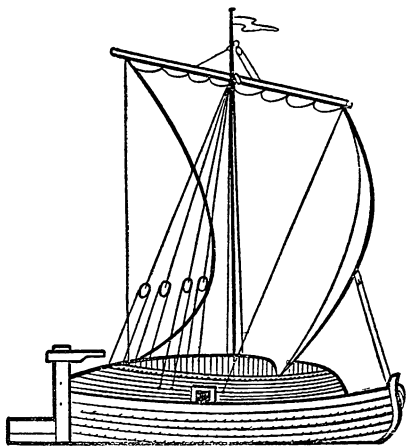


Рис. 20. Штиик

В XIV—XV веках в России, в Холмогорах, у устья Северной Двины строились маленькие плоскодонные мореходные парусные суда, называвшиеся шитиками (рис. 20). Доски, из которых состояла их обшивка, вдоль пазов сшивались ремнями или мочалой. Для создания водонепроницаемости шитиков пазы конопатили мхом или пенькой. Шитик длиной до 15 м вмещал 10 человек и от 7 до 30 т груза. И на таких судах купцы уходили далеко в море.

Много времени прошло, пока перед постройкой судов стали составлять полноценные проекты. Еще в XVIII веке постройку даже крупных военных кораблей во всех странах вели на глаз.

Впервые практически использовал закон Архимеда в 1666 году английский судостроитель Антони Дин, у которого спустя 32 года учился Петр I. Он вычислил водоизмещение корабля «Руперт» и до его спуска на воду впервые в истории судостроения определил будущую грузовую ватерлинию. Это позволило Дину вырезать в бортах пушечные порты (отверстия для установки пушек), пока корабль стоял на стапеле. Тогда это казалось почти чудом, и на спуск корабля приехал сам король со свитой. Однако не сразу после этого прием, примененный Дином, получил распространение; еще долгие годы, прежде чем прорезать пушечные порты, корабль спускали на воду, нагружали его всеми грузами, какие ему положено было нести, и только после этого намечали и прорезали порты.

В те времена вычисления криволинейного объема судового корпуса представляло собой чрезвычайно трудоемкую работу. Лишь в середине XVIII века петербургские академики Л. Эйлер и Д. Бернулли дали метод вычисления плавучести судна по чертежу его обводов. Однако расчеты отнимали много времени даже у судостроителей XIX века, так как тогда не было ни счетных машин, ни счетных (логарифмических) линеек. А все вычисления производились с точностью, которая была совершенно лишней. Поэтому большая часть труда тратилась впустую.

К середине XIX века в России было выпущено всего 34 книги по судостроению. Одна из первых книг по проектированию кораблей в России вышла в 1836 году. Ее автором был известный русский кораблестроитель, ученый М. М. Окунев. В 1865 году в большой научной работе «Теория и практика судостроения» М. М. Окунев упоминает о достижении «безопасности от потопления», — т. е.

о непотопляемости металлических судов путем разделения корпуса водонепроницаемыми переборками на отсеки. Четкое же определение непотопляемости в 1875 году впервые дал адмирал С. О. Макаров. Он настаивал на необходимости делить корпус корабля на отсеки. Однако вопросом непотопляемости судостроители серьезно занялись лишь после гибели в 1912 году от столкновения с айсбергом трансатлантика «Титаник».

Установка на судне мощного водоотливного средства была осуществлена лишь в 1874 году на броненосце «Новгород». Строитель «Новгорода» вице-адмирал А. А. Попов впервые в истории кораблестроения установил на корабле водоотливную систему с паровым насосом.

Непотопляемость потребовалась боевым кораблям, когда для их постройки вместо дерева стали применять железо. Во времена парусного флота артиллерия стреляла главным образом по рангоуту (мачты, стеньги, реи и т. п.) и парусам, чтобы лишить неприятельский корабль хода или чтобы вызвать на нем пожар. Разрушительное действие артиллерии тех времен было невелико, и пробоины в подводной части корпуса редки и незначительны. Борьба с ними было нетрудно.

После Синопского сражения (18 ноября 1853 года), в котором адмирал Нахимов уничтожил турецкий флот, сперва Россия, а за ней и другие страны стали строить крупные паровые корабли из железа. В 1867 году появились артиллерийские орудия с винтовой нарезкой в стволе и удлиненные снаряды большой пробивной силы.

Целью артиллерии теперь стали не мачты и паруса, а подводная часть металлического корпуса. Размеры пробоин увеличились, борьба с ними осложнилась. Тогда-то и возникла острая необходимость обезопасить корабли от затопления, придав им непотопляемость.

Первым, поднявшим вопрос о непотопляемости кораблей, был 22-летний мичман русского флота Степан Осипович Макаров, впоследствии ставший вице-адмиралом, много сделавшим для поднятия мощи русского флота.

В 1869 году во время учебного плавания в Финском заливе броненосная лодка «Русалка» водоизмещением 1900 *T*, только что спущенная на воду, маневрируя в шхерах, напоролась на риф, получив небольшую пробоину, стала наполняться водой. Команда, не имея необходимых средств и навыков, не могла прекратить доступ воды в лодку. Лодка затонула бы, если бы не села на мель.

Этот случай заставил мичмана С. О. Макарова задуматься над непотопляемостью кораблей. В результате изучения этого вопроса С. О. Макаров внес серьезное предложение по совершенствованию конструкций кораблей и устройству водоотливной системы. Он предложил укладывать вдоль днища по всей длине корпуса два трубопровода с ответвлениями во все отсеки междудонного пространства, соединенные с водоотливной помпой и снабженные устройством, показывающим, сколько и в каком отсеке находится воды. Он указал также на необходимость иметь на кораблях пластыри, которыми можно было бы закрывать пробоины.

Основная же идея С. О. Макарова заключалась в том, чтобы выравнивать корабль, заполняя водой отсеки, противоположные поврежденным. Эта идея в те годы казалась несурзадной и оставалась похороненной в пыльных архивах морского министерства.

Во время русско-японской войны С. О. Макаров командовал русским флотом в чине вице-адмирала. Он погиб на броненосце «Петропавловск», подорвавшемся в апреле 1904 года на японской mine. Лишь за год до этого подполковник Алексей Николаевич Крылов, впоследствии ставший академиком, представил в морской технический комитет «секретную записку» с первыми в мире составленными им таблицами непотопляемости. То были таблицы непотопляемости для броненосца «Петропавловск». После русско-японской войны такие таблицы были введены на всех боевых кораблях русского флота.

## КАК ВЫЧИСЛЯЮТ ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ СУДНА

Чтобы до постройки судна можно было определить его осадку при любом водоизмещении, поступают следующим образом:

1) мысленно рассекают корпус судна несколькими горизонтальными плоскостями;

2) вычисляют объемные водоизмещения корпуса от киля до каждой горизонтальной плоскости;

3) строят график, по горизонтали откладывают в удобном масштабе вычисленные объемные водоизмещения, а по вертикали — соответствующие этим водоизмещениям высоты от днища до горизонтальных плоскостей, т. е. осадки (рис. 21).

Такой график в судостроении называют грузовым размером. Зная объемное водоизмещение и плотность воды, в которой будет плавать судно, нетрудно вычислить и весовое водоизмещение для любой осадки.

Следовательно, для построения грузового размера надо уметь вычислять объемы.

### КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛНОТЫ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ

Для вычисления объемов тел правильной геометрической формы существуют специальные формулы. Наиболее просто вычислить объем параллелепипеда:  $V = l s h$ . Но типы судов, имеющих форму параллелепипеда или близкую к ней, немногочисленны; это прямоугольные понтоны, некоторые баржи, плавучие пристани и др. Корпус же большинства судов имеет форму, ограниченную неправильными криволинейными поверхностями. Для вычисления таких объемов простых формул не существует. Приходится применять особые приемы. Одни из них более, другие менее точны.



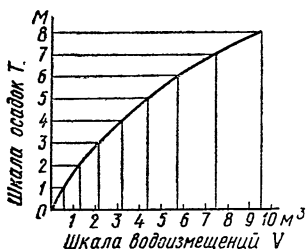


Рис. 21. Грузовой размер

части криволинейного корпуса судна. Очевидно, что объем подводной части корпуса судна (уменьшающийся к носу и корме) меньше объема такого параллелепипеда (рис. 22). Из практики судостроения известно, что объем подводной части каждой группы судов (сухогрузных, пассажирских, нефтеналивных и т. д.) составляет каждый свою, определенную долю объема параллелепипеда, описанного около подводной части корпуса, или, как говорят в судостроении, имеет свой коэффициент полноты водоизмещения. Коэффициент полноты водоизмещения обозначают греческой буквой  $\delta$ ; он равен отношению объемного водоизмещения  $V$  к объему параллелепипеда  $L \times B \times T$ , у которого  $L$ ,  $B$ ,  $T$  — соответственно наибольшая длина, ширина и осадка подводной части корпуса, т. е.

$$\delta = \frac{V}{L \times B \times T}.$$

Чем быстроходнее судно, тем меньше его коэффициент полноты водоизмещения, так как обводы быстроходных судов заострены больше, чем тихоходных. Так, например, коэффициент полноты водоизмещения больших пассажирских быстроходных океанских судов равен от 0,57 до 0,71, а речных тихоходных пассажирских судов — от 0,70 до 0,89.

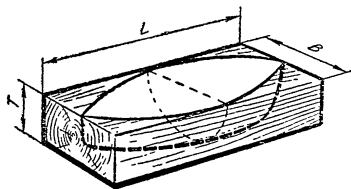


Рис. 22. Коэффициент полноты водоизмещения

Чтобы приближенно вычислить объемное водоизмещение  $V$  будущего судна, достаточно умножить произведение длины, ширины и осадки  $L \times B \times T$  на значение коэффициента полноты водоизмещения  $\delta$ , соответствующее типу судна.

Например, советский лесовоз типа «Павлин Виноградов» имеет длину 122 м, ширину — 16 м, среднюю осадку — 7,0 м. Из практики известно, что коэффициент полноты водоизмещения судов такого типа колеблется от 0,65 до 0,75, т. е. имеет среднее значение, равное 0,70. Тогда объемное водоизмещение:

$$V = L \times B \times T \times \delta = 122 \times 16 \times 7 \times 0,70 = 9600 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Из физики мы знаем, что, чем больше плотность жидкости, тем меньше погруженный в жидкость объем плавающего в ней тела. Во сколько раз плотность жидкости больше, во столько же раз погруженный объем меньше. Отношение погруженных объемов тела обратно пропорционально отношению плотностей жидкости. Так, например, при переходе судна из пресной воды плотности  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$  в соленую, плотность которой  $\rho = 1030 \text{ кг/м}^3$ , отношение погруженных объемов равно:

$$\frac{V_{\text{сол}}}{V_{\text{пресн}}} = \frac{1000}{1030} ; \text{ откуда: } V_{\text{сол}} = \frac{1000}{1030} V_{\text{пресн}} = 0,971 V_{\text{пресн}}.$$

Уменьшение погруженного объема судна при переходе его из пресной воды в соленую происходит только за счет уменьшения осадки  $T$ , так как размеры и обводы корпуса при этом практически не изменяются. Следовательно, в нашем примере:  $T_{\text{сол}} = 0,971 \cdot T_{\text{пресн}}$ .

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЧЕРТЕЖ

Другой, значительно более точный способ вычисления водоизмещения, называемый «способом трапеций», применяют тогда, когда уже в точности известны и вычерчены обводы корпуса. Он заключается в вычислении площадей большого числа трапеций, на которые разбивают сечения корпуса, изображенные на чертеже, называемом теоретическим чертежом. Теоретический чертеж — это главный, исходный чертеж для постройки судна. Им пользуются не только для вычисления водоизмещения, но и всех основных качеств судна: остойчивости, непотопляемости, ходкости. Он служит также и для изготовления частей конструкции корпуса, для выкраивания и изгибания листов обшивки, для установки двигателей, изготовления трубопроводов и т. п. Без теоретического чертежа невозможно построение современного судна. Познакомимся с ним в общих чертах.

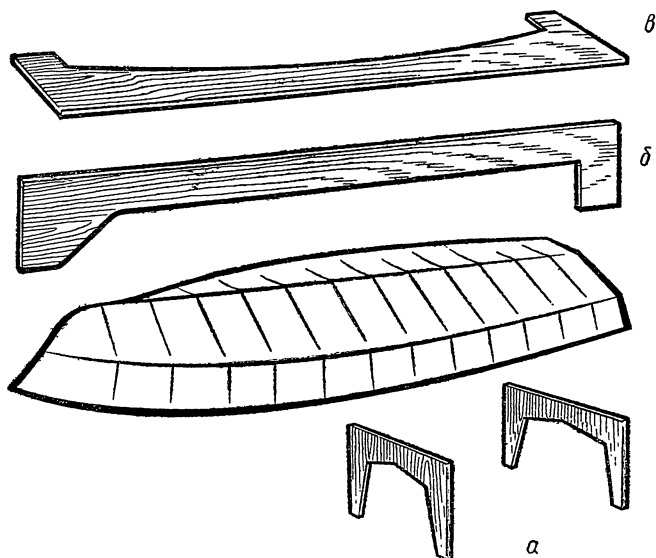


Рис. 23. Шаблоны для изготовления модели глиссирующего судна

Представим себе, что требуется изготовить из пластилина модель корпуса судна. Для этого нам даны шаблоны его поперечных сечений и заданы расстояния между ними (рис. 23). Прикладывая к пластилиновой болванке в заданных местах поперечные шаблоны и снимая между ними излишний материал, мы изготовим модель с обводами, близкими к заданным, но недостаточно точными, так как, снимая на глаз излишки материала, можно оставить между поперечными сечениями небольшие неровности — горбы и впадины, что в обводах судна совершенно недопустимо. Более точные и более плавные обводы модели могут быть выполнены, если, кроме поперечных (рис. 23, а), нам будут даны продольно-вертикальные (б) и горизонтальные (в) шаблоны. Тогда, поочередно прикладывая все шаблоны к болванке, можно изготовить модель с плавными, гладкими обводами. Чем больше шаблонов, чем меньше расстояния между ними, тем точнее и плавнее будут обводы модели.

Теоретический чертеж (рис. 24, 25) — это чертеж, на котором в уменьшенном масштабе изображены очертания

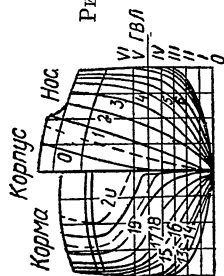


Рис. 24. Теоретический чертеж судна (корпус)

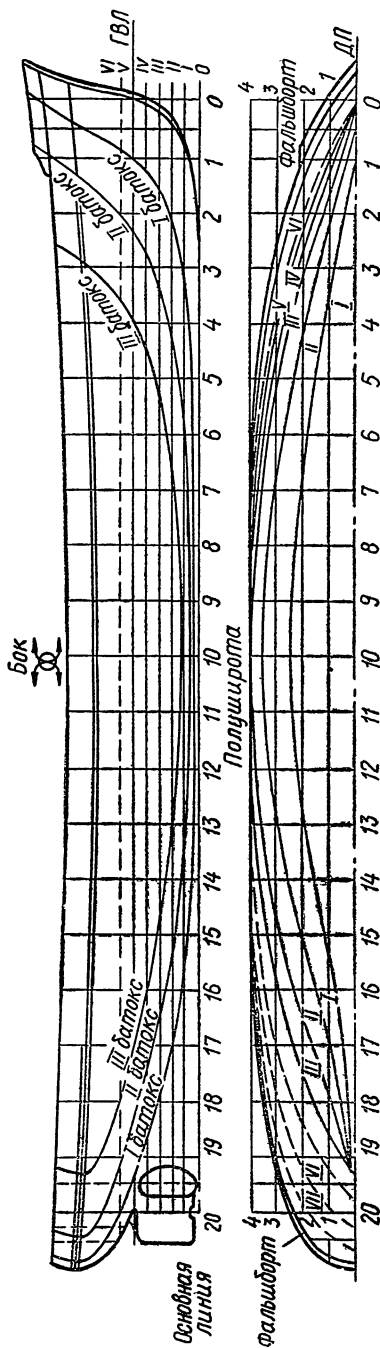


Рис. 25. Теоретический чертеж судна (бок и полуширота)

поперечных, продольно-вертикальных и горизонтальных сечений (шаблонов) корпуса судна. Чертеж дает полное и точное представление об обводах корпуса и позволяет измерить все необходимые для постройки корпуса размеры. Он носит название теоретического, так как в отличие от конструктивного чертежа на нем не показана действительная конструкция, а даны только лишь ее внешние контуры.

Теоретический чертеж судна вычерчивают в виде трех групп (трех проекций): справа — группу поперечных, слева — продольно-вертикальных, а под продольно-вертикальными — горизонтальные сечения. (Здесь группа поперечных сечений дана на рисунке 24). Пользуясь таким чертежом, можно вычертить любое промежуточное, не показанное на чертеже сечение. Так как корпус судна всегда бывает симметричным по отношению к средней продольно-вертикальной плоскости, называемой диаметральной, то поперечные и горизонтальные сечения также симметричны относительно диаметральной плоскости, поэтому на теоретическом чертеже изображают только одну половину каждого из этих сечений. Полностью изображают лишь продольно-вертикальные сечения, в том числе и сечение по диаметральной плоскости. Сечения внутри группы и сами группы сечений располагают так, чтобы их легче было вычерчивать и проверять, а именно так, как они должны быть расположены по отношению друг к другу по горизонтали и вертикали; положение по вертикали поперечных и продольно-вертикальных сечений отсчитывают от общей горизонтали, называемой основной линией; горизонтальные сечения располагают так, чтобы их оконечности находились точно под оконечностями соответствующих продольно-вертикальных сечений. На каждой группе сечений прямыми, взаимно перпендикулярными линиями показывают следы, или, иначе, проекции, плоскостей сечений двух других групп; при изготовлении модели эти прямые указывают, куда надо прикладывать соответствующие шаблоны. Эти линии — следы плоскостей сечений образуют на чертеже сетку, по которой и вычерчивают группы сечений. Каждая группа сечений и каждая линия теоретического чертежа имеют свои названия. Группа поперечных сечений называется корпусом, группа продольно-вертикальных сечений — боком, а группа горизонтальных сечений — полуширотой. Поперечные сечения называются теоретическими шпангоутами в отличие

от конструктивных, выполняемых из металла, которых на судне бывает значительно больше, чем теоретических на чертеже. Шпангоут, расположенный посредине длины судна, часто самый широкий, называется мидель-шпангоутом.

Чтобы в самых общих чертах охарактеризовать форму подводной части мидель-шпангоута, в судостроении применяют его коэффициент полноты. Коэффициент полноты мидель-шпангоута  $\beta$  равен отношению площади мидель-шпангоута  $S_x$  к площади прямоугольника, стороны которого равны наибольшей ширине подводной части мидель-шпангоута  $B$  и осадке  $T$  (рис. 26):

$$\beta = \frac{S_x}{B \times T}.$$

Каждое продольно-вертикальное сечение называется батоксом, а каждое горизонтальное — теоретической ватерлинией. Ватерлиния на уровне осадки при полной нагрузке судна называется грузовой ватерлинией. Ее обозначают буквами ГВЛ. Чтобы в общих чертах охарактеризовать форму грузовой ватерлинии, применяют ее коэффициент полноты. Коэффициент полноты грузовой ватерлинии  $\alpha$  равен отношению площади ГВЛ  $S_{ГВЛ}$  к площади прямоугольника с размерами, равными длине  $L$  и ширине  $B$  подводной части корпуса на уровне грузовой ватерлинии (рис. 27):

$$\alpha = \frac{S_{ГВЛ}}{L \times B}.$$

На теоретическом чертеже (рис. 25) все сечения нумеруются: шпангоуты — по направлению от носа к корме: шпангоут 0, 1, 2, 3 и т. д.; батоксы — по направлению от диаметральной плоскости к борту: батокс I, батокс II и т. д.; ватерлинии — снизу вверх, самая нижняя из них — это основная линия, затем — ватерлинии I, II и т. д.

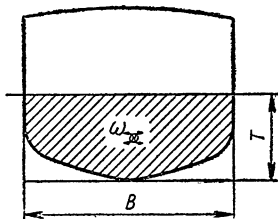


Рис. 26. Коэффициент полноты мидель-шпангоута

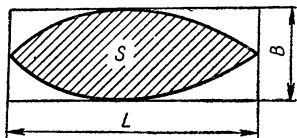


Рис. 27. Коэффициент полноты грузовой ватерлинии

Расстояния между двумя соседними теоретическими шпангоутами (называемые шпациями) делают равными. Число шпангоутов бывает либо 21, либо 11. Число ватерлиний — 6—8, число батоксов — 2—3.

Все три проекции сечений тесно связаны и согласованы между собой. Это основное требование к теоретическому чертежу. Все линии должны быть возможно более плавными, без резких, острых изгибов и переломов. (Последнее не относится к обводам глиссирующих судов, обводы которых имеют острые кромки и резкие изгибы.)

К началу вычерчивания теоретического чертежа должны быть определены все основные размеры корпуса: наибольшая длина, наибольшая ширина, высота борта, осадка, а также угол килеватости и тип обводов. Масштаб чертежа выбирают в зависимости от желаемой точности вычерчивания: 1/200, 1/100, 1/50, 1/20, для малых судов 1/10. Вычерчивание начинают с сеток для всех трех проекций.

Эти сетки состоят из прямых линий, показывающих, для каких плоскостей будут вычерчиваться шпангоуты, батоксы и ватерлинии. Когда сетки вычерчены, на проекции «корпус» рисуют от руки мидель-шпангоут, а затем в правой половине сетки — все носовые шпангоуты (от шпангоута 0 до мидель-шпангоута), а в левой — кормовые (рис. 24). Затем на сетке проекции «бок» (рис. 25) рисуют продольный контур корпуса носом вправо. Этот контур является сечением корпуса по диаметральной плоскости. После этого на сетке для проекции «полуширота» рисуют обводы грузовой ватерлинии, согласуя ее очертания с шириной шпангоутов на уровне грузовой ватерлинии на проекции «корпус», а длину — с длиной этой ватерлинии на проекции «бок». Для построения на проекции «полуширота» остальных ватерлиний поступают точно так же, согласуя их очертания с шириной шпангоутов на проекции «корпус» на высоте соответствующих ватерлиний. Для построения батоксов на проекции «бок» все вертикальные размеры берут с проекции «корпус», измеряя высоты от основной линии до пересечения шпангоута с вертикалью соответствующего батокса.

### СПОСОБ ТРАПЕЦИЙ

Водоизмещение по способу трапеций вычисляют по вполне законченному теоретическому чертежу. Разработана специальная форма таблицы, сокращающая вычисле-

ния и позволяющая получить все величины, необходимые при проектировании судна. Опишем упрощенно основные действия этих вычислений.

Величину объема корпуса можно определить, если сложить объемы отсеков, на которые корпус разделен теоретическими шпангоутами. Объем же каждого отсека можно достаточно точно вычислить, если умножить полусумму площадей двух крайних шпангоутов отсека на расстояние между ними.

Чтобы вычислить площадь половины шпангоута, поступают следующим образом. Очертание половины шпангоута разбивают горизонтальными линиями на трапеции (рис. 28). Вычислив площади всех трапеций (площадь трапеции равна полусумме ее оснований, умноженной на

высоту:  $S_{\text{трап}} = \frac{l_1 + l_2}{2} \cdot h$ ) и сложив их, получают пло-

щадь половины шпангоута. Сложив же площади двух половин соседних шпангоутов и помножив эту сумму на расстояние между шпангоутами, определяют объем отсека. Вычислив таким же способом объемы всех отсеков до грузовой ватерлинии, сложив их, узнают объемное водоизмещение судна.

**Планиметр.** Для вычисления криволинейных площадей существует и механический способ — при помощи приборов, называемых планиметрами.

Простейший планиметр, который может быть изготовлен самостоятельно, представляет собой металлический прут любой формы сечения (например, круглой, диаметром 6—8 мм) с загнутыми под прямым углом концами; высота загнутой части каждого конца 30—50 мм; один из загнутых концов конусообразно заострен, а другой расплюсчен и закруглен в виде топорика, острое лезвие которого расположено вдоль прута. Расстояние между острием на одном конце и самой нижней точкой топорика на другом должно быть равно точно 300 мм (рис. 29). Для того чтобы измерить площадь фигуры, надо конусообраз-

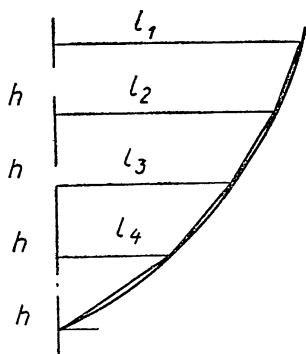


Рис. 28. Разбивка половины шпангоута на трапеции



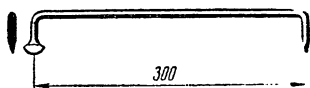


Рис. 29. Простейший планиметр

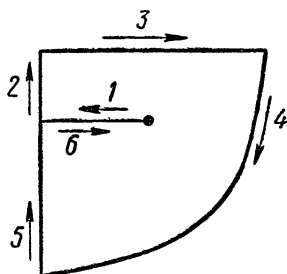


Рис. 30. Обводка площади острием планиметра

ный конец планиметра установить вертикально вблизи центра площади, определяемого на глаз (рис. 30); топорик при этом может находиться в любом месте. Затем надо прижать рукой топорик так, чтобы на бумаге остался короткий, слегка вдавленный след; после этого по любой прямой линии перевести конусообразный конец планиметра к очертанию измеряемой площади (рис. 30, 1) и трижды им возможно точнее обвести контур площади (рис. 30, 2, 3, 4, 5). Затем возвратить острие по прямой линии в исходное положение (рис. 30, 6). При обводке фигуры

острием топорик, предоставленный сам себе, будет слегка перемещаться. После возвращения острия в исходное положение надо опять нажать на топорик, чтобы он оставил на бумаге второй вдавленный короткий след. Теперь останется, убрав планиметр, измерить расстояние между серединами следов, оставленных топориком. Измеренное в миллиметрах расстояние будет численно равно измеряемой площади в квадратных сантиметрах. При обводе контура площади конец с острием надо держать перпендикулярно к плоскости чертежа так, чтобы конец с топориком скользил по гладкой бумаге совершенно свободно. Правильность пользования планиметром можно проверить, измерив им площадь прямоугольника.

## ЧИСЛО ФРУДА

Все описанные методы вычисления дают водоизмещение в некотором масштабе. Для того чтобы знать водоизмещение действительного, полноразмерного судна, необходимо результат вычислений умножить на куб масштабного числа<sup>1</sup> чертежа. Так, если теоретический чертеж выполнен в масштабе 1/100, то результат вычисления водо-

<sup>1</sup> Масштабным числом называется знаменатель масштаба.

измещения (объемного или весового) надо умножить на  $100^3 = 1\,000\,000$ .

Если сделать пустотелую модель корпуса в масштабе 1/100 (например, из фанеры или дерева) и загрузить ее так, чтобы вес был в 1 000 000 раз меньше весового водоизмещения судна, то на воде ее осадка будет в 100 раз меньше, чем осадка настоящего судна. Однако такой способ определения осадки судостроители обычно не применяют, так как при измерении осадки модели, борта которой смочены водой, можно легко ошибиться. Ошибка же в 1 мм, например, на взятой модели на судне будет равна 100 мм, что, конечно, существенно. Судостроители широко используют модели только для определения качеств будущего судна, связанных главным образом с его движением: скорости хода, потребной для этого мощности двигателей, поворотливости, поведения на волне. Строят особые (неплаваящие) модели для раскроя листов наружной обшивки, для проверки маскировочной окраски военных кораблей и т. п. Но для определения плавучести, остойчивости, непотопляемости в наше время моделей не применяют. Эти качества точнее могут быть определены вычислениями при помощи теоретического чертежа.

Еще в древние времена, когда науки теории корабля не существовало, пытались определять все качества судна по его моделям. Но большинство испытаний давали неверные результаты, так как техника и методы испытаний были очень несовершенны, а правильный метод пересчета результатов модельных испытаний на «натуру», т. е. на полноразмерное судно, неизвестен. Только в конце XIX века судостроители научились испытывать модели так, чтобы по этим испытаниям можно было до постройки судна узнать его качества.

В 1871 году англичанин Вильям Фруд предложил адмиралтейству способ испытания уменьшенных моделей для определения сопротивления, встречаемого со стороны воды при движении судна, и способ пересчета этого сопротивления и всех других величин с модели на судно. Этот способ пересчета теперь носит название закона подобия Фруда. С этого времени судостроители получили лаборатории, которые потом стали называть опытными бассейнами. Основное устройство и принцип работы опытового бассейна типа, предложенного В. Фрудом<sup>1</sup>, заключаются в

---

<sup>1</sup> Позже был предложен опытовый бассейн иного типа.

следующем. Вдоль продольных берегов прямоугольного бассейна, обычно вырытого в земле, забетонированного и наполненного водой, уложено по одному рельсу. По этим рельсам над бассейном с любой заданной скоростью движется большая, нескольких метров длиной, металлическая платформа на колесах, на которой во время испытания находятся экспериментаторы (рис. 31). Эта платформа, называемая буксировочной тележкой, оборудована движущимися ее электромоторами и измерительными приборами. В средней части пола буксировочной тележки сделан вырез, над ним установлен основной прибор тележки — динамометр сопротивления, рычаг которого опускается к воде (рис. 32)<sup>1</sup>. К концу этого рычага крепят буксировочный тросик, горизонтально соединенный с моделью, стоящей на воде под вырезом в полу. Тележке задают определенную скорость движения (с этой же скоростью движется и модель) и по показаниям динамометра определяют сопротивление, встречаемое моделью со стороны воды. Этими показаниями пользуются для определения мощности двигателя будущего судна и для расчета гребного винта. Повторяя пробеги тележки с различными скоростями, получают сопротивление модели при скоростях от самой малой до самой большой. Для того чтобы результаты испытаний можно было пересчитать на полно-размерное судно, модель и условия испытаний должны точно соответствовать настоящим (натурным), согласно закону подобия Фруда, а именно, чтобы соблюдалось равенство между двумя отношениями:

$$\frac{v_{\text{мод}}}{\sqrt{g \times L_{\text{мод}}}} = \frac{v_{\text{кор}}}{\sqrt{g \times L_{\text{кор}}}} ;$$

где  $v_{\text{мод}}$  и  $v_{\text{кор}}$  — скорости хода соответственно модели и корабля,  $L_{\text{мод}}$  и  $L_{\text{кор}}$  — длина или любой линейный размер соответственно модели и корабля,  $g$  — ускорение силы тяжести —  $9,81 \text{ м/сек}^2$ .

Величину  $\frac{v}{\sqrt{g \times L}}$  теперь называют числом Фруда и обозначают буквой  $F_r$ .

Из числа Фруда следует, что все линейные размеры модели должны быть меньше тех же размеров корабля в одно и то же масштабное число раз; скорости буксировки

<sup>1</sup> В настоящее время применяются динамометры сопротивления и иного устройства.

модели — меньше скорости хода корабля в число раз, равное корню квадратному из масштабного числа, вес модели — меньше весового водоизмещения корабля в число раз, равное кубу масштабного числа. Так, например, если масштаб модели равен  $1/10$ , то длина, ширина, осадка и все другие наружные линейные размеры корпуса модели должны быть в 10 раз меньшими, чем у корабля; скорости буксировки модели должны быть меньше

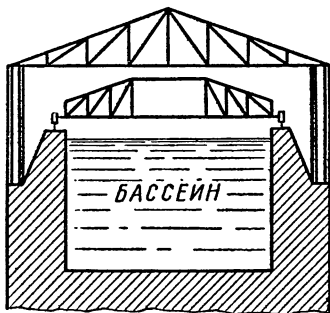


Рис. 31. Схема опытового бассейна для испытаний моделей судов

скорости корабля в число раз, равное  $\sqrt[3]{10}$ ; весовое водоизмещение модели меньше водоизмещения корабля в число раз, равное  $10^3 = 1000$ .

Длина современных опытовых бассейнов от 100 до 1200 м; ширина — в 20—50 раз короче длины, а глубина — вдвое меньше ширины. Модели судов для таких испытаний делают без палубных надстроек и рубки и обычно из парафина с деревянным каркасом внутри, реже из дерева. Перед испытанием модель взвешивают и балансируют, чтобы ее вес и положение центра тяжести соответствовали водоизмещению и положению центра тяжести по длине судна.

Испытания на поворотливость проводят в специальных круглых бассейнах, в которых модель буксируют по

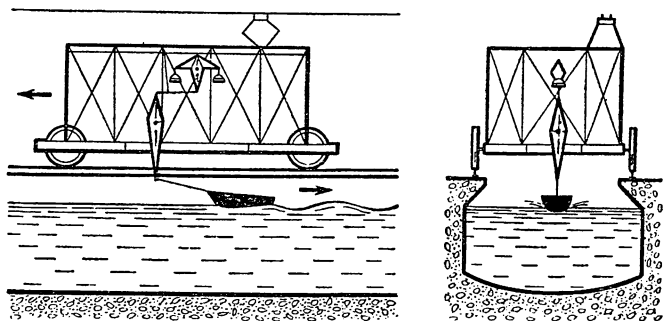


Рис. 32. Схема буксировочной тележки с динамометром

окружности посредством вращающегося устройства, установленного в центре бассейна и имеющего длинный горизонтальный рычаг (ферму).

Некоторые испытания производят с самоходными моделями, внутрь которых устанавливают электромотор и специальный динамометр, измеряющий упор гребного винта, т. е. силу, с которой винт толкает корпус, а также мощность, затрачиваемую электромотором на вращение винта. Согласно закону подобия Фруда число оборотов гребного винта модели в масштабе  $1/10$  должно быть больше числа оборотов корабельного гребного винта в число раз, равное  $\sqrt[3]{10}$ ; мощность, затрачиваемая на вращение винта модели, меньше мощности на вращение настоящего (натурного) винта в число раз, равное  $10^{3,5} = 10^3 \cdot \sqrt[3]{10} = 1000 \cdot 3,16 = 3160$ , а упор винта в  $10^3$  раз меньше, чем на корабле. Самоходные модели применяют и для испытаний на поворотливость.

Когда требуется проверить поведение судна, идущего по взволнованной поверхности воды, в буксировочном бассейне поднимают волну. Это делается при помощи стоящего в конце бассейна устройства, называемого волнопродуктором. Волнопродуктор может создать волны заданной длины и высоты. Существуют волнопродукторы, создающие не только встречные или догоняющие, но и волны, бегущие под любым углом к направлению хода модели. В опытовых бассейнах испытывают модели не только судов, но и гребных винтов. Для этого на буксировочной тележке устанавливают специальный, называемый винтовым, динамометр. В то время как буксировочная тележка идет с заданной скоростью, этот динамометр вращает модель гребного винта и одновременно измеряет создаваемый винтом упор и мощность, затрачиваемую на вращение винта. Такие испытания позволяют подобрать винт, упор которого должен будет соответствовать сопротивлению судна для заданной скорости хода.

Суда с обводами некоторых типов на ходу становятся менее устойчивыми, чем на стоянке. Модели таких судов испытывают на устойчивость; модели гириями задают крен и измеряют угол, на который она кренится на ходу при различных скоростях.

## КОГДА КОРАБЛИ НЕ ОПРОКИДЫВАЮТСЯ

В своем сочинении «О плавающих телах» Архимед указал главное условие, при котором плавающее тело находится в равновесии. Это указание Архимеда позволило впоследствии сознательно создавать суда, которые возвращаются в первоначальное, обычно вертикальное положение после того, как наклонившая их сила перестает действовать. Такие суда называют остойчивыми.

Остойчивость — это способность судна, выведенного воздействием внешних сил из положения равновесия, возвращаться к нему после прекращения этого воздействия.

Академик-кораблестроитель А. Н. Крылов в письме адмиралу С. О. Макарову, написанном в 1903 году, очень хорошо сказал, какова должна быть остойчивость корабля: «...чтобы плавучесть утрачивалась раньше остойчивости корабля, т. е. чтобы корабль тонул, не опрокидываясь». Иными словами, чтобы недостаток остойчивости не мог служить причиной гибели корабля.

Что же может предохранить судно от опрокидывания?

Представим себе, что на неподвижно стоящем судне из-за неправильной загрузки трюма сыпучий груз стал сваливаться к одному борту. От этого судно стало крениться, постепенно увеличивая угол крена. Но вот наступил момент, когда груз перестал пересыпаться, а крен перестал расти, и судно осталось в накрененном положении.

## КРЕНЯЩАЯ И ВОССТАНАВЛИВАЮЩАЯ ПАРА СИЛ

Почему судно стало крениться и какая сила прекратила увеличение угла крена?

Известно, что на судно, стоящее неподвижно на воде, т. е. находящееся в равновесии, всегда действуют две равные друг другу силы. Одна из них — это сила тяжести судна со всеми находящимися на нем грузами, приложенная

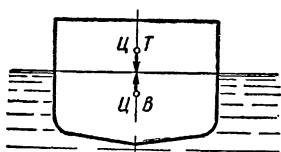


Рис. 33. Положение ЦТ и ЦВ при вертикальном положении судна

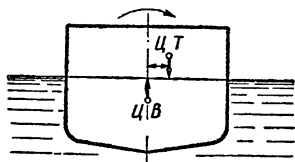


Рис. 34. Положение ЦТ и ЦВ в начале смещения груза к борту

к центру тяжести судна в точке, обозначаемой буквами ЦТ. Другая — сила поддержания (как это доказывается в гидростатике) приложена в центре тяжести объема вытесняемой судном воды и направлена вертикально вверх. Точка приложения этой силы носит название центра величины и обозначается буквами ЦВ. Для равновесия судна, как указал Архимед, необходимо, чтобы точки ЦТ и ЦВ были расположены на одной общей вертикали (рис. 33). Раз судно, стоявшее неподвижно, начало крениться, значит, необходимое условие равновесия наруши-

лось. В нашем примере это произошло потому, что переместившийся груз сместил ЦТ судна с вертикали, общей с ЦВ; а именно ЦТ ушел с диаметральной плоскости ближе к борту (рис. 34). В первый момент времени смещения ЦТ из-за своей инертности судно продолжает стоять вертикально, а ЦВ остается расположенным на диаметральной плоскости. Тогда на судно начинают действовать две силы, численно равные друг другу по величине, направленные вертикально одна вверх, другая вниз и расположенные на некотором горизонтальном расстоянии друг от друга (рис. 34). Такие две силы в механике носят название пары сил, а расстояние между ними — плечом пары. Произведение же одной из сил пары на плечо называется моментом пары. Пара сил (кренящая пара  $M_{кр}$ ), действующая на судно, стремится наклонить его. Но с появлением крена объем подводной части корпуса, до этого симметричный, начинает изменять свою форму: со стороны борта, уходящего в воду, объем увеличивается, а с противоположного борта — уменьшается. Полная же величина объема подводной части остается неизменной. С изменением формы объема подводной части изменяется и положение точки ЦВ: она перемещается в сторону, с которой объем увеличивается. Однако смещение ЦВ из-за инертности судна отстает от смещения ЦТ (рис. 35). Когда же груз

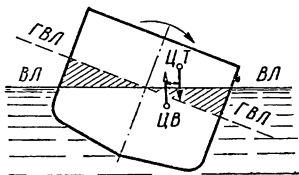


Рис. 35. Положение ЦТ и ЦВ при накренивании судна

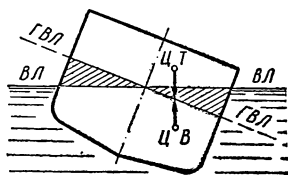


Рис. 36. Судно в равновесии в накренинном положении

прекратит пересыпаться, ЦТ перестанет смещаться и ЦВ встанет с ним на одну вертикаль. Тогда плечо пары, накренившей судно, окажется равным нулю. Равным нулю станет и момент кренящей пары. Крен перестанет расти, и судно останется в накренинном положении (рис. 36). Если бы ЦВ не успел стать с ЦТ на одну вертикаль до того, как весь водонепроницаемый борт ушел под воду, вода хлынула бы в корпус, судно опрокинулось бы и затонуло.

Если после прекращения накренивания возвращать груз на его первоначальное место, ЦТ начнет смещаться по направлению к своему исходному положению на диаметральной плоскости. Судно же из-за инертности еще некоторое время будет находиться в накренинном положении, и, следовательно, ЦВ займет положение, соответствующее крену (рис. 37). При таком взаимном расположении ЦТ и ЦВ пара сил тяжести и поддержания будет стремиться вернуть судно в первоначальное вертикальное положение. Такая пара является восстанавливающей. Под действием восстанавливающей пары угол крена станет уменьшаться, а ЦВ перемещаться по направлению к своему первоначальному положению.

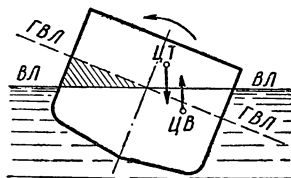


Рис. 37. Положение ЦТ и ЦВ в начале возвращения груза к диаметральной плоскости

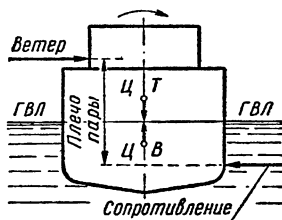


Рис. 38. Кренящая пара сил ветра и сопротивления воды



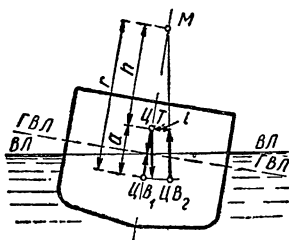


Рис. 39. Метациентр, метациентрический радиус, метациентрическая высота

чальному месту. Когда ЦТ и ЦВ вернуться на диаметрально-плоскую, судно вновь примет свое первоначальное вертикальное положение. О таком судне можно сказать, что оно остойчиво, так как после прекращения действия кренящей пары оно вернулось в исходное положение.

Другой пример. На судно, свободно стоящее на воде в вертикальном положении, под прямым углом к борту по-

дул ветер. Под действием силы ветра судно стремится перемещаться бортом вперед, или, как говорят моряки, лагом. Однако ввиду инертности частиц воды вода сразу не расступится перед бортом и окажет ему сопротивление, равнодействующая которого расположена в подводной части корпуса. Спустя некоторое время судно начнет двигаться лагом с постоянной скоростью. Сила сопротивления воды, возникающая при равномерном движении судна, равна силе, с которой ветер дует на надводную часть судна (рис. 38). Таким образом, появляется кренящая пара сил, под действием которой судно накренится.

Как известно из предыдущего примера, при крене ЦВ изменяет свое положение (ЦТ не перемещается). Создается вторая пара сил. Если ЦВ переместится так, что сила поддержания вместе с силой тяжести создает восстанавливающую пару, момент которой будет равен моменту кренящей, то судно при своем установившемся поступательном движении будет находиться в состоянии равновесия.

Но вот ветер прекратился, действие силы ветра исчезло, судно перестало перемещаться лагом, исчезла и сила сопротивления воды. Теперь на судно действует лишь одна восстанавливающая пара, и судно возвращается в вертикальное положение. О таком судне говорят, что оно остойчиво. Если же к моменту времени, когда ветер прекратится, силы поддержания и тяжести не успеют создать восстанавливающей пары, судно, продолжая крениться, опрокинется, такое судно нестойчиво.

Из этих примеров видно, что то судно более остойчиво, у которого ЦВ при накренивании перемещается дальше от своего первоначального положения. Для этого корпус суд-

на должен быть возможно шире. Условия безопасного на-  
кренения судна требуют высокого водонепроницаемого  
борта и водонепроницаемости главной палубы на случай,  
если верхняя кромка борта уйдет под воду.

### НАЧАЛЬНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

Остойчивость судна определяется не только положением точек ЦТ и ЦВ, но и другими величинами.

Опускают перпендикуляр из точки ЦТ, находящейся на диаметральной плоскости, на направление, вдоль которого действуют силы поддержания, при угле крена до  $10—15^\circ$  (рис. 39). Длину этого перпендикуляра называют плечом остойчивости, а произведение силы поддержания на плечо остойчивости — восстанавливающим моментом или статической остойчивостью. Обозначив восстанавливающий момент через  $M_v$ , а плечо остойчивости через  $l$ , получают:

$$M_v = D \times l.$$

Чтобы вычислить восстанавливающий момент, необходимо определить плечо остойчивости, так как величина  $D$  обычно известна при проектировании. Для определения  $l$  (при небольшом угле крена до  $10—15^\circ$ ) можно поступить следующим образом.

Продолжив линию действия силы поддержания до пересечения с диаметральной плоскостью, получают точку, называемую метацентром и обозначаемую буквой  $M$  (рис. 39). Расстояние между метацентром  $M$  и ЦВ при вертикальном положении судна носит название метацентрического радиуса и обозначается буквой  $r$ .

Расстояние между точками  $M$  и ЦТ называется метацентрической высотой и обозначается буквой  $h$ . Как видно из рисунка 39,  $h = r - a$ , где  $a$  — вертикальное расстояние между точками ЦТ и ЦВ, вычисляемое при проектировании судна.

Зная  $h$  и угол  $\Theta$  (угол между диаметральной плоскостью и линией действия силы поддержания, равный углу крена), из  $\triangle NMK$  (рис. 40) можно определить  $l$ :

$$l = h \times \Theta, \text{ если } \Theta < 15^\circ.$$

В этом случае угол  $\Theta$  выражают в радианах. (Радян — угол между двумя радиусами круга, вырезающий на окружности дугу, длина которой равна радиусу,  $1^\circ \approx 0,0175 \text{ рад.}$ )

Тогда

$$M_B = D \times h \times \Theta,$$

или

$$M_B = D \times (r - a) \times \Theta.$$

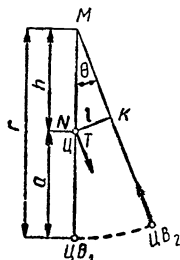


Рис. 40. Определение плеча остойчивости

Последнее равенство носит название метacentрической формулы. Эта формула является основной для вычисления остойчивости судов при угле крена до  $10-15^\circ$  в зависимости от высоты надводного борта. Эта остойчивость называется начальной.

Из метacentрической формулы можно заключить, что, чем больше метacentрическая высота  $h$ , тем больше для данного судна при данном угле крена начальная остойчивость. Из рисунка 40 видно, что  $h$  тем больше, чем ниже расположен центр тяжести (ЦТ) судна и чем больше метacentрический радиус ( $r$ ).

Метacentр — слово греческое, оно означает «пограничный центр». Если точки  $M$  и ЦТ совпадают, метacentрическая высота  $h$ , а следовательно, и плечо остойчивости  $l$  равны нулю. В этом случае направление силы поддержания при любом угле крена (до  $10-15^\circ$ ) будет проходить через ЦТ, и силы тяжести и поддержания не создадут ни восстанавливающей, ни кренящей пары. Поэтому судно, у которого точки  $M$  и ЦТ совпадают (при накренивании на любой начальный угол до  $15^\circ$ ), после прекращения действия кренящего момента останется накренившимся. Остойчивость такого судна называют нулевой, а его равновесие — безразличным. Судно же следует считать нестойчивым. Если метacentр  $M$  лежит выше центра тяжести ЦТ, метacentрическую высоту и остойчивость судна называют положительными. При расположении  $M$  ниже ЦТ метacentрическая высота и остойчивость судна отрицательны. Такое судно нестойчиво. Для обычных водоизмещающих судов метacentрическая высота изменяется в зависимости от назначения судна от 0,30 м для грузовых морских судов до 5,0 м для речных колесных буксиров и даже до 10 м для грузовых барж.

Понятие начальной остойчивости ввел в середине XVIII века член Петербургской Академии наук Леонард Эйлер.

## ОСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ БОЛЬШИХ УГЛАХ НАКЛОНЕНИЙ

Метацентрическая формула начальной остойчивости выведена в предположении, что при накренинии ЦВ перемещается по дуге окружности, центром которой служит метацентр, расположенный на диаметральной плоскости (рис. 41). Это предположение остается справедливым для судна с вертикальными бортами лишь при накренинии до  $10\text{--}15^\circ$ . С ростом углов крена после  $10\text{--}15^\circ$  ЦВ перемещается по иной кривой, форма которой зависит от обводов корпуса. Точка, из которой как из центра может быть проведена дуга окружности, по которой ЦВ перемещается за время накрениния на два близких друг к другу угла, больших  $10\text{--}15^\circ$ , лежит уже не на диаметральной плоскости.

На рисунке 42 показаны для одного большого угла крена взаимное положение и направление действия сил тяжести и поддержания, а также — плеч остойчивости  $l$ . Остойчивость при углах крена, больших  $10\text{--}15^\circ$ , называется остойчивостью при больших углах наклонений.

Для наглядного суждения об остойчивости судна при всех углах крена служит диаграмма, называемая диаграммой статической остойчивости или диаграммой Рида (рис. 43). По горизонтальной оси этой диаграммы строят равномерную шкалу углов крена, а по вертикальной — шкалу плеч остойчивости. Из каждого деления горизонтальной шкалы восстанавливают перпендикуляры и откладывают на них величину плеча остойчивости, вычислен-

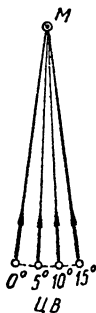


Рис. 41. Перемещение ЦВ при углах крена до  $10\text{--}15^\circ$

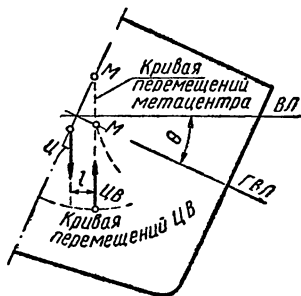


Рис. 42. Кривые перемещений ЦВ и М при больших углах крена

ную для данного угла. Построенные таким путем точки соединяют плавной линией и получают кривую, по которой можно находить величину плеча остойчивости при любом угле крена.

Так как восстанавливающий момент, действующий на судно, равен  $M_B = D \times l$ , то, зная  $D$ , можно построить рядом со шкалой  $l$  шкалу  $M$ .

При равенстве  $M_{кр} = M_B$  наклоненное судно находится в равновесии. Задавшись величиной  $M_{кр}$  и проведя горизонталь из соответствующего деления шкалы  $M_B$  до пересечения с кривой, под точкой пересечения находят на шкале  $\Theta$  значение угла, на который судно наклонится при заданном  $M_{кр}$ . На диаграмме, приведенной на рисунке 43, видно, что наибольшую остойчивость данное судно водоизмещением 5000  $T$  имеет при угле крена  $43^\circ$ . А момент, необходимый для наклонения судна на  $43^\circ$ , равен  $M_{кр} = 5000 \cdot 0,53 = 2650$  ( $T \cdot м$ ). При большем кренящем моменте судно опрокинется. При любом меньшем кренящем моменте судно остойчиво и после прекращения действия момента будет возвращаться в первоначальное вертикальное положение. Если приложить к этому судну кренящий момент, равный, например,  $M_{кр} = 1500$   $T \cdot м$ , то оно наклонится на  $20^\circ$ . Если затем дополнительным моментом заставить судно наклониться на угол  $\Theta = 62^\circ$ , соответствующий  $M_{кр} = 1500$   $T \cdot м$  на нисходящей части кривой, а затем устранить дополнительный момент, то судно окажется в состоянии неустойчивого равновесия. Действительно, при малейшем дуновении ветра, увеличивающем угол крена,  $M_{кр}$  станет больше  $M_B$  и судно опрокинется; если же угол крена уменьшится,  $M_B$  станет больше  $M_{кр}$  и судно не вернет-

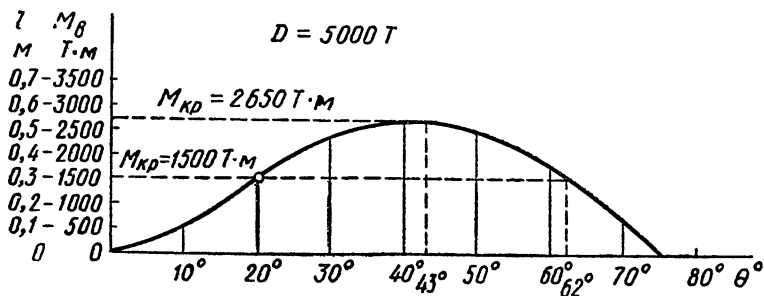


Рис. 43. Диаграмма статической остойчивости

ся в свое первоначальное положение при  $\Theta = 62^\circ$ . При угле крена  $\Theta = 75^\circ$ , при котором кривая пересекает горизонтальную ось диаграммы, судно полностью теряет остойчивость.

Первое применение диаграммы Рида связано с трагической гибелью английского боевого корабля «Кептен», происшедшей в 1870 году.

В конце шестидесятых годов прошлого века в Англии проектировался железный броненосец «Кептен». Автор проекта капитан Кольз хотел соединить в этом корабле все важные для корабля качества. Борты были защищены особенно толстой броней, на палубе возвышались изобретенные Кользом бронированные вращающиеся орудийные башни. Чтобы уменьшить попадания неприятельских снарядов, надводный борт имел высоту втрое меньшую по сравнению с высотой надводного борта других кораблей того же класса. Кроме паровых машин, «Кептен» имел и полное парусное вооружение. Так как ванты (тросы, поддерживающие мачты с бортов) мешали бы поворотам орудий, на «Кептене» было решено установить особые, трехногие стальные мачты, которым ванты не требуются.

Рассмотрев проект «Кептена», главный инженер флота Рид отказался утвердить его, указав, что у «Кептена» слишком высоко расположены такие тяжелые грузы, как орудийные башни и стальные мачты, надводный борт низок, парусов много, ширина корпуса недостаточна; корабль обладает малой остойчивостью и опрокинется даже при небольшом угле крена. Но никто не хотел ни прислушаться к словам главного инженера, ни поверить его расчетам, сделанным впервые и казавшимся малоубедительными. Вот тогда-то Риду и пришла мысль построить диаграмму, наглядно сравнивающую плечи остойчивости двух кораблей одного класса: «Кептена» и «Монарха» (рис. 44). Из этой диаграммы можно было с полной очевидностью заключить, что «Кептен» уже при крене  $20^\circ$  уменьшает свою остойчивость и его наибольшее плечо остойчивости около 0,8 м; в то же время «Монарх» будет уменьшать свою остойчивость лишь при крене  $40^\circ$ , когда его плечо остойчивости достигнет почти 2 м. Но и это не убедило лордов ад-

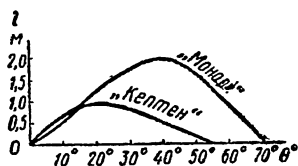


Рис. 44. Диаграммы статической остойчивости кораблей «Монарх» и «Кептен»

миралтейства, и было решено все же построить корабль по проекту Кольза.

«Кептен» был построен и в сентябре 1870 года вместе с десятью другими кораблями броненосной эскадры под командой адмирала Мильна вышел на парусные учения. Чтобы выявить ходовые качества кораблей своей эскадры, адмирал Мильн приказал устроить парусную гонку в районе мыса Финистерре (вблизи северо-западной оконечности Испании).

Первый день гонки прошел спокойно, но после захода солнца начало свежеть, и на кораблях из предосторожности для уменьшения площади парусов взяли два, а потом и три рифа (завязки на парусе, при помощи которых уменьшают его площадь). Адмирал Мильн внимательно следил с флагманского корабля за действиями шедшего за ним «Кептена» и после полуночи, поскольку ветер все крепчал, приказал подать флажный сигнал: «Кораблям действовать по усмотрению». На этот сигнал все корабли ответили: «Ясно вижу». В 1 ч 30 мин с флагманского корабля видели, что «Кептен» идет с большим креном на правый борт. Вскоре налетел шквал ветра с дождем, и вокруг уже ничего нельзя было разглядеть. В 2 ч 15 мин ветер стих, и луна осветила горизонт. «Кептена» не было видно, но огни многих других кораблей эскадры продолжали покачиваться над водой. На рассвете, по сигналу флагмана все корабли собрались, кроме «Кептена». Адмирал приказал начать поиски. Вскоре один из кораблей подобрал с воды обломки «Кептена» и труп матроса с него. Другой корабль в ближайшем испанском порту обнаружил баркас (22-весельная шлюпка) с «Кептена» с восемнадцатью членами экипажа. Один из спасшихся, старший артиллерийский офицер «Кептена» рассказал: «Кептен» шел с настолько большим креном, что кромка правого борта касалась воды, на мостике вместе с вахтенным офицером находился и командир корабля, один из опытейших моряков флота капитан Бургойн. Когда крепчавший ветер накренил корабль еще, была подана команда «марса-шкоты отдать», означавшая, что и последние паруса должны быть убраны. Но этой команды не успели выполнить: корабль лег бортом на воду, опрокинулся килем вверх и затонул. Несколько корабельных шлюпок, катер и баркас, сорвавшись, полетели в воду. На днище перевернувшегося катера взобрались двадцать человек, в том числе и капитан Бургойн. При попытке перебраться на проплывав-

ший мимо катера баркас капитан Бургойн утонул, одного матроса волной смыло с катера, остальные восемнадцать человек смогли перебраться на баркас и на нем дошли до испанского порта. Пятьсот тридцать человек, в том числе и автор проекта «Кептена» молодой капитан Кольз, погибли.

Суд, разбиравший дело о гибели «Кептена», вынес порицание упрямству невежественных лордов адмиралтейства, не пожелавших прислушаться к словам Рида, и постановил выгравировать свой приговор на бронзовой плите, которую в назидание потомкам выставить в Лондоне в соборе святого Павла. После гибели «Кептена» доклады и расчеты Рида были опубликованы в печати, и предложенный Ридом метод проверки остойчивости вскоре стал общепринятым.

Во всех приведенных примерах ЦТ был расположен выше ЦВ. Но возможны случаи, когда центр тяжести на судне лежит ниже центра величины (рис. 45), такое судно остойчиво, куда бы центр величины ни перемещался, так как момент пары сил — силы тяжести и силы поддержания всегда будет восстанавливающим. Это судно можно сравнить с ванькой-встанькой: оно при любом крене вернется в вертикальное положение. Некоторые специальные спасательные суда строят так, чтобы их центр тяжести был расположен ниже центра величины; при этом применяют постоянный балласт. Если такое судно будет перевернуто днищем вверх, оно вернется в свое нормальное положение. У обычных транспортных надводных судов такое расположение ЦТ и ЦВ трудно осуществить, но у парусных яхт с высоким плавником под днищем, имеющим внизу свинцовый киль (называемый фальшкилем), оно встречается довольно часто.

До сих пор мы говорили об остойчивости обычных над-

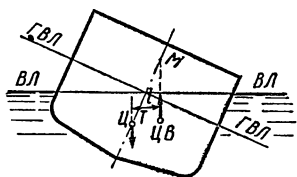


Рис. 45. При положении ЦТ ниже ЦВ судно всегда остойчиво

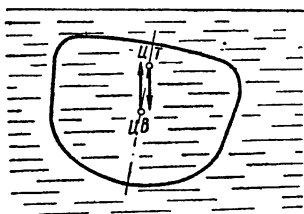


Рис. 46. При положении ЦТ выше ЦВ подводное судно нестойчиво



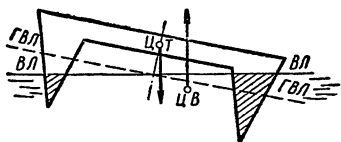


Рис. 47. Перемещение ЦВ при крене двухкорпусного судна очень велико

водных водоизмещающих судов. Коротко познакомимся с остойчивостью иных судов.

При любых поперечных очертаниях центр величины подводной лодки в подводном положении расположен в центре тяжести погруженного объема. А так как при этом весь ее объем находится под водой, то при крене он не из-

меняет своей формы и, следовательно, центр величины никуда не смещается. Если на подводной лодке ЦВ расположен ниже ЦТ, то, как это видно из рисунка 46, при крене силы поддержания и тяжести создают кренящую пару, отчего лодка при любом угле крена неустойчива. Для того чтобы под водой лодка была устойчива, необходимо ЦТ располагать ниже ЦВ; для этого перед погружением лодка принимает балласт в цистерны, расположенные внизу корпуса.

Особенно устойчивы двухкорпусные суда — катамараны. Корпуса катамарана расположены на некотором расстоянии друг от друга, и при крене их ЦВ уходит очень далеко от своего первоначального положения на диаметральной плоскости (рис. 47).

Остойчивость обычных водоизмещающих судов считают одинаковой как на стоянке, так и на ходу. У глиссеров и судов с подводными крыльями на ходу остойчивость значительно больше, чем на стоянке. На стоянке, когда они поддерживаются архимедовой силой, их остойчивость подчиняется тем же законам, что и остойчивость судов водоизмещающих. На ходу же у поверхности воды их поддерживает гидродинамическая подъемная сила. Поэтому остойчивость судов зависит от смещения к борту гидродинамической подъемной силы. Это смещение у глиссеров и судов с подводными крыльями даже при очень малых углах крена существенно больше, чем перемещение ЦВ при крене на стоянке или малой скорости хода.

Остойчивость судов рассчитывают на самые неблагоприятные, «нормальные» для судна условия его эксплуатации. Так, например, для пассажирского судна — на случай перехода всех пассажиров к одному борту, для буксиров — на рывок буксирного троса, расположенного наис-

кость. При этом всегда учитывают, что такие причины крена могут совпадать с креном от действия ветра и от отклонения руля.

Для изменения направления движения судна отклоняют, или, по-морскому, перекладывают руль. Поперечная сила, возникающая при этом на руле, заставляет судно повернуться вокруг некоторой его вертикальной оси; в то же время ЦТ судна по инерции еще продолжает двигаться прямолинейно. Возникающий при этом угол между диаметральной плоскостью и направлением движения ЦТ судна носит название угла дрейфа (рис. 48).

Движение корпуса судна под углом дрейфа подобно движению крыла, у которого хордой является диаметральной плоскостью судна, а углом атаки — углом дрейфа. Поэтому на подводной части корпуса возникают гидродинамические боковые силы, которые вместе с силой упора гребного винта заставляют судно изменить свое первоначальное направление движения и двигаться по дуге. При движении судна по дуге возникают инерционные силы, равнодействующая которых, приложенная в ЦТ судна, направлена наружу дуги. Так как ЦТ судна расположен выше точки приложения равнодействующей гидродинамических боковых сил, направленной внутрь дуги, то возникает момент, накренивающий судно наружу дуги. Чем значительнее переложен руль и чем больше скорость хода судна, тем больше угол наружного крена.

Глиссирующие же суда при движении по дуге кренятся внутрь дуги. Причина этого в том, что гидродинамическая подъемная сила, поддерживающая глиссер у поверхности воды, при движении днища под углом дрейфа перемещается с диа-

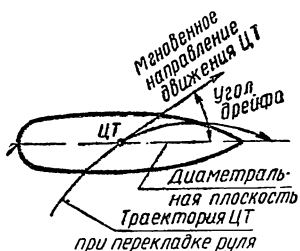


Рис. 48. Угол дрейфа при повороте судна



Рис. 49. Расположение сил при повороте глиссирующего судна

метральной плоскости ближе к наружному борту (рис. 49) и вместе с силой тяжести образует пару сил, кренящую судно внутрь дуги. Инерционные же силы и сила бокового сопротивления образуют пару восстанавливающую.

## ПРОДОЛЬНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

Судно может оказаться наклоненным не только в поперечном направлении, но и в продольном, отчего возникает дифферент. Для того чтобы вернуться из продольного наклонения в свое нормальное положение, например на ровный киль, судно должно обладать продольной остойчивостью.

Продольная остойчивость судна значительно больше поперечной, так как при продольном наклонении центр величины уходит гораздо дальше, чем при поперечном, и опасаться продольного опрокидывания судна не приходится. Однако условия, в которых оказывается судно при эксплуатации, очень разнообразны, и в некоторых случаях может появиться необходимость знать, каков будет угол дифферента при том или ином дифферентующем или восстанавливающем моменте. Вот два примера.

В 1920 году нашей молодой республике очень нужны были паровозы. Изготовить их тогда не было возможности: не хватало металла, топлива, станков. И Советское правительство заказало паровозы в Швеции.

В начале августа 1924 года шведский завод в Тролльгетане сообщил, что первая партия паровозов готова. Предстояло перевезти паровозы в Петроград. Было решено закупить для этого подходящее иностранное судно и, приспособив его под погрузку паровозов, перевезти их шлюзованным Готским каналом из Тролльгетана в шведский порт Ландскрону. Оттуда паровозы должны были быть доставлены в Петроград морем на другом, более крупном судне. Закупить судно для перевозки паровозов каналом поручили академику А. Н. Крылову, выдающемуся советскому судостроителю. Крылов выбрал небольшой английский пароход «Нибинг». В июле 1922 года судно пришло в Тролльгетан и стало под погрузку одиннадцати паровозов с тендерами. Проход судов по шлюзованным каналам разрешается, только если длина, ширина и осадка судна не больше установленных для данного канала пределов. «Нибинг» соответствовал требованиям Готского канала, за исключением того, что после загрузки кормой

он сидел на 6,7 см больше, чем полагалось. Осадка же носом была немного меньше предельной. Представитель канала, вызванный для освидетельствования судна, потребовал, чтобы осадка кормой была уменьшена. Но как это сделать? Встала угроза срыва всего плана своевременной доставки паровозов в Петроград. Тогда А. Н. Крылов, произведя с большой точностью необходимые расчеты, распорядился выкачать всю питьевую воду, хранившуюся в кормовом отсеке (этот отсек называют ахтерпиком), долить из-за борта воду в носовой отсек (этот отсек называется форпиком) и затем откачивать воду из одной средней балластной цистерны до тех пор, пока осадки носом и кормой станут одинаковыми. Когда это было выполнено, оказалось, что осадка точно удовлетворила требованиям инспектора канала, и разрешение было дано незамедлительно. Плавание «Нибинга» прошло успешно, и паровозы вовремя пришли в Петроград.

В 1930 году академик О. Ю. Шмидт высказал смелую мысль о том, чтобы пройти Северным морским путем за одну навигацию из Архангельска до Петропавловска-на-Камчатке. Спустя два года Совет Народных Комиссаров принял решение осуществить это.

Первым кораблем, которому предстояло осуществить этот небывало смелый в истории Арктики поход, был выбран наш знаменитый ледокол «Сибиряков» (рис. 50). Для командования кораблем был назначен капитан Воронин Владимир Иванович, руководителем всей экспедиции — Отто Юльевич Шмидт.

Перед «Сибиряковым» стояла исключительно трудная задача: выйдя из Архангельска, обойти Северную Землю, достичь устьев Лены и Колымы, обогнуть мыс Дежнева, пройти Берингов пролив и ошвартоваться у стенки Петропавловска-на-Камчатке. Весь путь надлежало пройти за одну навигацию.

28 июля 1932 года «Сибиряков» тремя протяжными гудками попрощался с Архангельском и лег курсом на восток.

К началу сентября «Сибиряков» преодолел уже значительную часть (3600 миль, около 6670 км) трудного и опасного плавания во льдах. 10 сентября, вечером, когда до чистой воды Берингова пролива оставалось не более 150 миль (около 280 км), на ледоколе ощутили три мощных толчка. В машинном отделении раздались звонки телеграфа: с мостика в машину скомандовали «стоп». Надо

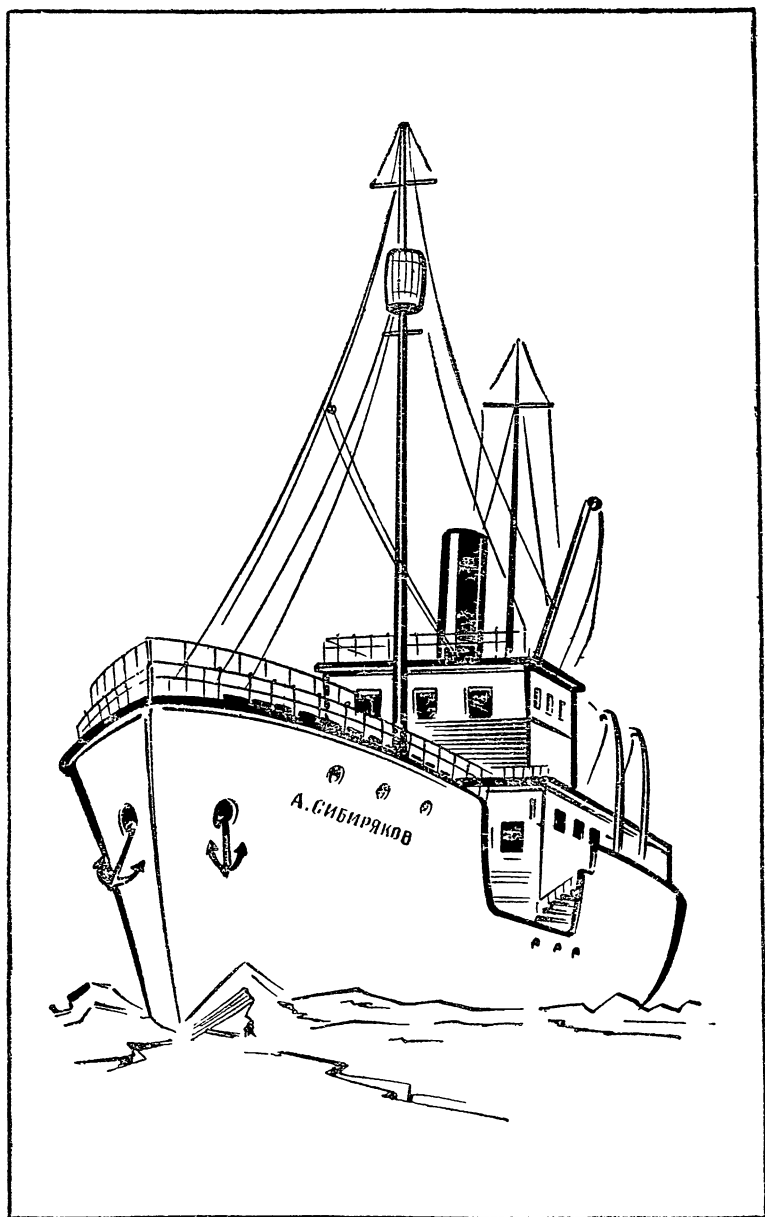


Рис. 50. Ледокол «Сибиряков»

было немедленно найти причину толчков. «Подать люстру», «выбросить за корму штормтрап!» И вот в ярком свете мощных электроламп и прожектора по штормтрапу (веревочной лестнице) за корму спускается старший помощник капитана Ю. К. Хлебников. При общем напряженном молчании на палубе он обследует самую чувствительную и уязвимую при плавании во льдах деталь ледокола — его гребной винт. Поданным ему багром Хлебников начинает ощупывать винт. Целы ли лопасти? Каждая лопасть надежно прикреплена к ступице винта несколькими болтами, и опасаться за прочность их крепления не приходится, но утончающиеся к наружному концу лопасти могут не выдержать громадной силы удара о подтянутую винтом тяжелую льдину и обломиться. Но вот Хлебников командует на палубу: «Провернуть машину на четверть оборота». Команда передается на мостик и оттуда в машину. Машинисты вручную проворачивают поворотное устройство. «Еще на четверть оборота машину». Все с нетерпением ждут приговора, целы ли лопасти, но Хлебников молчит, продолжая обследовать лопасти. Еще раз повторив команду и ощупав багром четвертую лопасть, старпом взбирается на палубу и объявляет: одна лопасть совершенно отломана, три другие обломаны наполовину своей длины. Этот страшный приговор вахтенный помощник капитана заносит в судовой журнал рядом с записью только что определенного им точного места остановки ледокола; это почти то же место, где много лет назад стала «Вега» — экспедиционное судно исследователя Норденшельда. Серьезность положения всем ясна. На чистой воде «Сибиряков» еще мог бы на остатках лопастей как-то двигаться вперед, но во льдах он стал бессильным. Необходимо было заменить лопасти запасными. Но то, что было бы совсем просто сделать в доке, в открытом море почти невозможно: ведь гребной винт находится глубоко под водой. Решающее слово за начальником экспедиции О. Ю. Шмидтом, и Отто Юльевич принимает решение: облегчить корму, загрузить нос, подняв этим гребной винт на три метра, снять остатки лопастей и поставить на их место новые. Вот тут-то пригодились и теоретический чертеж корабля, и расчеты продольной остойчивости. По этим данным определили необходимый дифферент на нос, при котором ось винта могла подняться на три метра, и вычислили вес груза и расстояние, на которое он должен быть перенесен с кормы на нос, чтобы создать требуемый

дифференцирующий момент. Расчет показал, что с кормы на нос следует перенести 400 т! Хорошо, если на ледоколе в корме сыщется такой груз, который можно будет перенести и разместить в носовой части! К счастью, в кормовом трюме оказался довольно большой запас угля. На ледоколе был объявлен аврал (работа, в которой принимает участие весь экипаж). Уголь перетаскивали решительно все, находившиеся на корабле. Дорога была каждая минута. Через четыре часа напряженной работы весь уголь был перенесен из кормового трюма на нос. И все же ступица гребного винта оставалась под водой примерно на глубине 30 см. Больше нечего было переносить с кормы на нос, и механикам пришлось устанавливать лопасти, погрузив руки по локоть в ледяную воду: термометр показывал температуру в воде  $-1^{\circ}\text{C}$ .

Быстро сколотили деревянный настил, соорудили подвесные люльки, и, наконец, раздались первые удары кувалд по зубилам: начали сбивать цемент, которым для большей надежности заливают гайки болтов, закрепляющих лопасти на ступице. Вскоре все лопасти были поставлены на свои места, и началось перетаскивание угля с носа обратно в кормовой трюм. Тем временем в котлах подняли давление пара, машинисты прогрели остывшую машину, и ледокол после громкого радостного гудка тронулся в путь.

### ДИНАМИЧЕСКОЕ НАКРЕНЕНИЕ

Когда кренящий момент возникает не мгновенно, а растет медленно, постепенно, пока не достигнет своей наибольшей величины, накренение судна происходит также медленно, постепенно и прекращается, когда восстанавливающий момент становится равным или большим кренящего. После прекращения действия кренящего момента устойчивое судно возвращается в свое нормальное вертикальное положение. Иное произойдет, если кренящий момент подействует мгновенно, как, например, при шквале. Тогда судно будет увеличивать свой крен не медленно, а быстро и по инерции перейдет угол, при котором кренящий и восстанавливающий моменты станут равными. При внезапно подействовавшем кренящем моменте судно может опрокинуться, несмотря на то что в какой-то момент времени ЦТ и ЦВ окажутся на одной вертикали. Такое накренение называют динамическим. Чтобы опре-

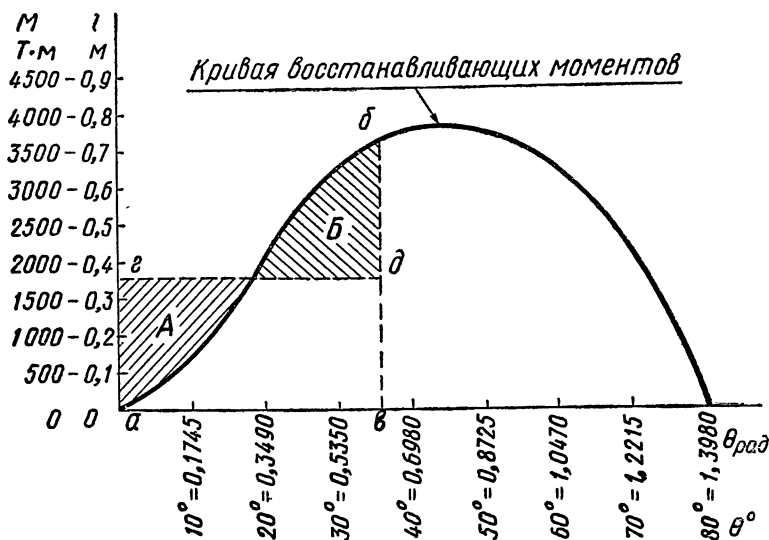


Рис. 51. Вычисление работы кренящего момента

делить угол, до которого судно накренится при внезапном действии заданного кренящего момента, надо вычислить механическую работу этого момента, а затем найти угол, при котором эта работа будет равна работе восстанавливающего момента. Из физики мы знаем, как можно графически изобразить работу силы.

Совершенно так же следует поступать для изображения работы кренящего и восстанавливающего моментов. Работа вращающего момента равна произведению момента на угол поворота тела в радианах (в нашем случае — на угол крена). Отложим на вертикальной шкале диаграммы статической остойчивости (рис. 51) величину внезапно подействовавшего кренящего момента ( $аг$ ), проведем соответствующую ей горизонталь ( $гд$ ) до пересечения с вертикалью, проведенной из какого-либо деления шкалы углов крена. Площадь ( $агдв$ ), ограниченная осями диаграммы, горизонталью ( $гд$ ) и вертикалью ( $бв$ ), численно равна работе кренящего момента при накренивании судна до данного угла. Площадь же ( $абв$ ), ограниченная кривой восстанавливающих моментов, горизонтальной осью диаграммы и вертикалью ( $бв$ ), численно равна



работе восстанавливающего момента при накренинии до того же угла. Если работа восстанавливающего момента окажется равной работе кренящего, судно перестанет крениться.

Наибольший угол крена можно определить по диаграмме. Для этого необходимо подобрать положение вертикали таким образом, чтобы площади *агдв* и *абве* были равными. Равенство этих площадей имеет место, когда площади *A* и *B* равны друг другу. В этом случае точка пересечения вертикали *бв* с горизонтальной осью диаграммы и укажет наибольший возможный угол крена.

В наше время остойчивость хорошо изучена. Для расчета остойчивости при проектировании судна создан ряд надежных способов: способ А. Н. Крылова, Р. А. Матросова, С. Н. Благовещенского и др. Тем не менее случаи опрокидывания судов не единичны. Главной причиной этого является потеря остойчивости из-за небрежного к ней отношения экипажа судна либо из-за неправильных действий при аварии.

Так, например, английский парусный линейный корабль «Роял Джордж» погиб в 1798 году при штиле, стоя в порту, только потому, что для ремонта ему задан был настолько большой крен, что вода заплескивала в открытые пушечные порты. Вначале это не представляло собой опасности. Когда же нижние кромки портов из-за увеличившегося крена опустились совсем близко к воде, старший офицер доложил об этом командиру корабля. Командир не учел грозившей опасности, отложил спрямление судна и распорядился поставить команду на свои места для спуска брам-реев (третьей снизу реи), что в те времена полагалось делать на ночь. Когда матросы разбежались для выполнения команды, крен увеличился, кромка портов ушла под воду и вода хлынула через все порты. Корабль опрокинулся и затонул почти мгновенно, увлекая за собой более 900 человек.

А вот крейсер «Рюрик», в феврале 1916 года пропоровший себе днище чуть ли не по всей длине корабля, несмотря на тяжелое повреждение и сильный туман, не только дошел своим ходом до ближайшего порта, но и находился все время в полной боевой готовности, ожидая боя с германскими крейсерами. Таким благополучным исходом аварии «Рюрик» был обязан тому, что все горловины второго дна были водонепроницаемо задраены и крейсер не потерял своей остойчивости.

Четкое определение остойчивости и основы ее вычисления были даны лишь в XVIII веке членом Петербургской Академии наук Полем Бугером. В 1790 году вышел большой труд Эйлера по кораблестроению, в котором впервые было дано понятие о метацентре и его положении относительно центра тяжести корабля.

До этого в вопросах остойчивости судостроители шли ощупью. В конце XVI века в Голландии строился большой военный корабль. Для увеличения боеспособности корабля предполагалось площадки стрелков расположить возможно выше над палубой. Зная из опыта, что повышение ЦТ корабля ведет к снижению остойчивости, строители обратились к крупному ученому С. Стевину с просьбой решить, будет ли корабль достаточно остойчив при высоко поднятых площадках со стрелками. Определение положения ЦТ корабля Стевину было вполне доступно, но положение ЦВ при накренивании корабля и, следовательно, восстанавливающий момент Стевин не смог определить и на поставленный ему вопрос ответить отказался.

## КАК ПОДНИМАЮТ ЗАТОНУВШИЙ КОРАБЛЬ

Судно затонуло, жизнь его как будто окончена. Может ли архимедова сила помочь вернуть судно к жизни?

Если, затонув, судно не получило каких-либо серьезных повреждений, из-за которых его восстановление будет стоить дороже, чем постройка нового такого же судна, то его можно поднять со дна и, исправив повреждения, вновь ввести в строй. Препятствием для подъема судна может явиться глубина, на которой судно затонуло, и степень погружения его в грунт.

Какие же основные силы надо преодолеть для подъема полностью затонувшего и заполненного водой судна? Это сила тяжести судна и так называемое отрывное сопротивление — сила, с которой грунт препятствует отрыву от него судна.

Сила тяжести судна может быть известна из его проекта. Отрывное сопротивление в большинстве случаев можно вычислить лишь приближенно. Оно зависит от характера грунта и колеблется от 0 до 100% силы тяжести судна. Для каменистого неровного грунта отрывное сопротивление считают равным нулю. При илистом грунте, если судно погрузилось в него до грузовой ватерлинии, отрывное сопротивление принимают равным около 100% силы тяжести судна. Однако отрывное сопротивление можно значительно уменьшить, если подвести под корпус затонувшего судна трос и подрезать днище или же отмыть грунт от бортов при помощи струи воды специальной водяной помпы.

При расчете силы, которую необходимо приложить к судну для его подъема, надо учесть и архимедову силу, действующую на все погруженные в воду части судна. Эту силу можно определить, вычислив объем обшивки и конструкции корпуса, объем механизмов, находящихся в суд-

не, устройств, оборудования и т. п. деталей. Это можно сделать, пользуясь проектными данными судна.

Для подъема судов применяются специальные плавучие подъемные краны или килекторы — суда, снабженные мощными шпилями (вертикальными барабанами, вращаемыми двигателями), при помощи которых выбирают (поднимают) подведенные под судно тросы. Архимедова сила помогает подъему судов.

## СПОСОБЫ ПОДЪЕМА СУДОВ

1. Водонепроницаемо закрыв в затонувшем судне все отверстия, в него вводят шланги водоотливных помп и откачивают воду, заполняющую судно. Приобретя достаточную плавучесть, судно всплывает. Тот же результат достигается, если вместо шлангов водоотливных помп в судно вставляют шланги компрессора, подающего сжатый воздух. Под давлением сжатого воздуха вода из отсеков затонувшего судна выходит через специально для этого поставленные трубы. В этом случае отверстия в судне должны быть заделаны воздухонепроницаемо.

2. Если к обоим бортам затонувшего судна, не заделывая его отверстий, прикрепить при помощи тросов воздухонепроницаемые, заполненные водой металлические понтоны (цилиндры), а затем при помощи сжатого воздуха удалить из них воду, то, приобретя плавучесть, они всплывут, а с ними всплывет и поднимаемое судно. Тот же результат может быть достигнут, если воду из понтонов откачать водоотливными насосами.

Иногда понтоны или баржи, находящиеся на плаву, притапливают, налив в них воду, и к ним крепят цепи, подведенные под затонувшее судно. Откачав из понтонов или барж налитую воду, заставляют их всплыть, а затонувшее судно приподняться на некоторую высоту над грунтом. Затем баржи с висящим на цепях судном отбуксировывают на более мелкое место, опускают судно на грунт и повторяют всю операцию. Этот способ называют «ступенчатым».

3. На палубе затонувшего судна водонепроницаемо устанавливают прямоугольную надстройку, возвышающуюся над поверхностью воды. После этого из надстройки откачивают воду. Приобретя плавучесть, надстройка всплывает и поднимает с собой судно на некоторую, зара-

нее рассчитанную высоту. В несколько затопленном состоянии всплывшее судно отбуксировывают в док, где из судна откачивают воду.

Как бы просты по своему существу ни были эти способы, все они требуют большой подготовительной работы и очень тщательных расчетов. В самом деле, ведь надо, чтобы судно после подъема не опрокинулось, чтобы цепи, понтоны и надстройка, прикладываемые подъемную силу лишь в отдельных местах судна, а не равномерно по всей обшивке и палубе, не повредили корпуса, необходимо воду из судна удалять равномерно, чтобы судно не всплыло носом или кормой вверх.

Вот примеры: один — небрежной, другой — тщательной подготовки к поднятию затонувшего судна.

Летом 1918 года при приближении интервентов к Новороссийску часть судов, находившихся там, затопили, дабы они не попали в руки неприятеля. Среди них был и нефтеналивной теплоход «Эльбрус» водоизмещением 9500 *T* и длиной около 115 м. Через наливной трубопровод заполнили водой его наливные отсеки, а для затопления машинного отделения динамитной шашкой подорвали обшивку правого борта. «Эльбрус» затонул на глубине около 24 м недалеко от Новороссийского порта.

Прошел год. Англичанам, хозяйничавшим к этому времени в Новороссийске, место затопления «Эльбруса» стало известно. Подъем «Эльбруса» был поручен одной из английских фирм. Водолазы, спущенные для осмотра судна и грунта, доложили, что судно мало повреждено, сидит почти «на ровный киль», с небольшим дифферентом на корму, и что грунт илистый, легко поддающийся размыву. Подъем судна фирма решила осуществить путем продувки неповрежденных отсеков сжатым воздухом через нефтеналивные трубы. Подготовительные работы заняли все лето, однако тщательные расчеты не были выполнены, и, когда осенью приступили к продувке, судно долго не всплывало. Наконец, когда давление воздуха в отсеках сильно повысилось, носовая часть «Эльбруса» быстро всплыла, но палубный настил носового отсека с оглушительным треском разорвался, и судно вновь погрузилось в воду. Произошло это потому, что не было предусмотрено автоматическое приспособление, понижающее давление воздуха в отсеках после того, как палуба всплывет и на нее сверху уже не будет давить столб воды. Всплыло же

судно носом кверху потому, что отсеки между собой герметически не изолировали и ввиду начального дифференциала накачиваемый воздух собирался в носу. Впрочем, если бы судно всплыло «на ровный киль», палуба могла бы разорваться во многих местах.

После неудачной попытки фирма отказалась от подъема судна. Работы по подъему «Эльбруса» были возобновлены только летом 1918 года. Осмотр затонувшего судна водолазами показал, что судно получило ряд повреждений, которые существенно усложнили условия подъема, однако проверка отсеков сжатым воздухом показала возможность их герметизации и потому было решено поднимать судно путем продувки отсеков. Приступили к размывке грунта под днищем и одновременно к тщательным расчетам. Определили силу тяжести судна, отрывное сопротивление и архимедову силу, проверили остойчивость судна после его всплытия и особенно тщательно — прочность корпуса. На «Эльбрусе», как и на всяком наливном судне, машинное отделение было расположено в корме, и для всплытия наиболее тяжелой кормовой оконечности было решено подвести под корму стальные тросы, а их концы прикрепить к поплавкам — понтонам, расположенным с обоих бортов судна примерно на уровне палубы. Каждый понтон после продувки его воздухом мог создать силу поддержания в 1000 кн. Окончательный подъем «Эльбруса» произвели летом 1925 года. Всплытие носовой части происходило четыре раза. Последний раз, когда из всплывшего форпика откачали воду, носовая часть осталась на плаву. Потом продули кормовые отсеки, понтоны, и корма всплыла. После всплытия кормы продули оставшиеся затопленными некоторые кормовые отсеки, и «Эльбрус» был отбуксирован тремя буксирами в порт. Сила поддержания судна была рассчитана так, чтобы ее равнодействующая лежала на одной вертикали с ЦТ судна. При подъеме корпус не получил никаких серьезных повреждений или переломов.

Познакомимся теперь подробнее с тем, что же представляет собой подъем судна различными способами.

**Способ подъема удалением воды.** Чтобы поднять судно этим способом, надо прежде всего создать полную водонепроницаемость корпуса: водонепроницаемо закрыть все его отверстия в бортах, палубе и днище, в том числе пробоины, если они имеются. Работа по заделке отверстий, если их много, — самая трудная и дорогостоящая часть

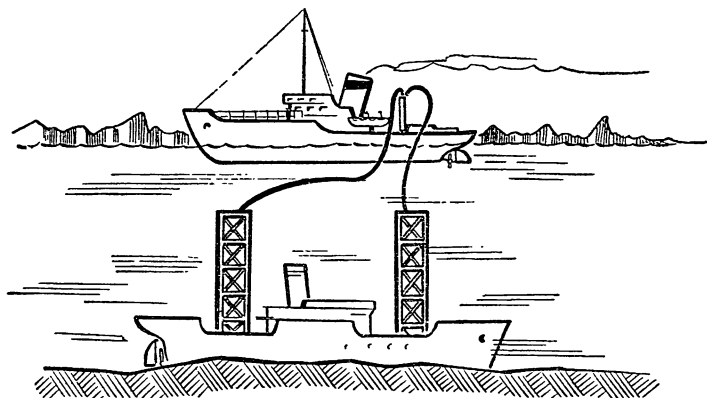


Рис. 52. Подъем удалением воды из затонувшего судна

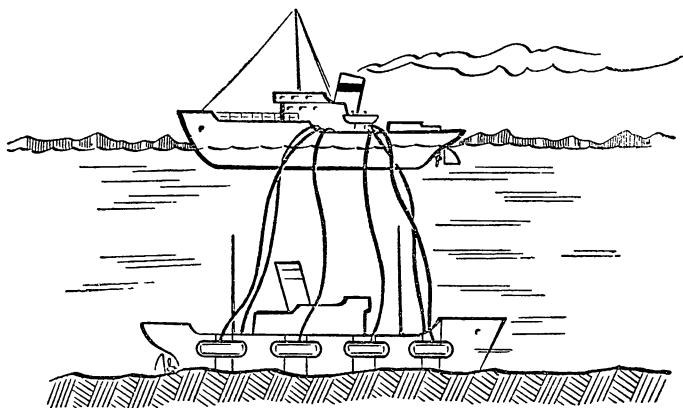


Рис. 53. Подъем судна при помощи понтонов

работы по подъему, и в то же время от нее зависит успех создания важнейшего условия — водонепроницаемости корпуса. Отверстия могут быть самой различной формы и размеров: например, от разошедшихся листов обшивки, от выскочившей заклепки. В зависимости от формы и размеров отверстий их заделывают пластырями, деревянными пробками, специальными болтами.

Так как деревянные части пластырей и большие деревянные пробки имеют значительную плавучесть, их снабжают временным балластом, чтобы они не вырывались

вверх из рук водолаза. Для изготовления пластыря или пробки нужных размеров с отверстия судна предварительно снимают шаблоны. Большие тяжелые пластыри приходится опускать под воду при помощи плавучих кранов. Если отверстие закрыто грунтом, грунт возле отверстия нужно размыть. Размыв же грунта для уменьшения отрывного сопротивления производят перед самым подъемом, чтобы за время других работ судно вновь не ушло бы в грунт.

Когда все отверстия заделаны, на палубе судна устанавливают металлические водонепроницаемые прямоугольного сечения шахты, немного возвышающиеся над уровнем воды. Нижний конец шахты соединяют с палубой водонепроницаемо и из шахты откачивают воду. После этого в палубе под шахтой делают отверстия, в которые пропускают шланги, идущие от водоотливной помпы специального судна (рис. 52). Затем приступают к откачке воды из поднимаемого судна.

Когда освобожденный от воды объем корпуса окажется достаточно большим и приобретенная благодаря этому плавучесть судна будет больше силы тяжести и отрывного сопротивления, судно, оторвавшись от грунта, станет всплывать. Продолжая откачивать воду, можно заставить судно всплыть по грузовую ватерлинию или по ватерлинию порожнем.

Если воду удаляют из судна нагнетанием в него сжатого воздуха, шахты не устанавливают и воздух подают в герметически закрытое судно по шлангам от компрессоров. Для вытекания вытесненной воды на судне ставят специальные трубы. При этом способе должны быть предусмотрены автоматически открывающиеся и закрывающиеся клапаны. Эти клапаны при подъеме судна снижают давление накаченного воздуха по мере уменьшения глубины погружения судна. В противном случае при уменьшении высоты столба воды над палубой, палубу может разорвать. Воздух накачивают симметрично по отношению к центру тяжести и диаметральной плоскости судна, чтобы оно не всплыло со значительным дифференциалом или креном.

**Способ подъема понтонами.** Не заделывая в корпусе отверстий, на местах, определенных расчетом, к бортам затонувшего судна при помощи подведенных под судно тросов или иным способом прикрепляют металлические понтоны, заполненные водой (рис. 53). Понтоны распола-



гают так, чтобы после всплытия палуба судна оказалась над водой. Если возможно под судно подвести тросы (например, когда судно лишь немного погрузилось в грунт), то под его корпусом промывают туннель. Эта работа всегда сопряжена с большими трудностями. Когда понтоны надежно соединены с кораблем, со специального судна к ним подводят шланги компрессора, подающего сжатый воздух. После удаления воды понтоны приобретают необходимую плавучесть и всплывают вместе с кораблем.

Затем водонепроницаемо заделывают все отверстия в судне и откачивают из него воду. После этого судно с понтонами отбуксировывают в ближайший порт. Если применяют ступенчатый способ, при котором понтоны (или баржи) после их налива водой остаются на плаву, то под судно подводят цепи или стальные полотнища и крепят их к понтонам, всплывшее после осушения понтонов судно в затопленном положении отбуксировывают на более мелкое место, вновь наливают понтоны водой, выбирают цепи и вновь осушают понтоны. Судно вновь несколько всплывает и вновь отбуксировывается на более мелкое место. Этот способ удобен тем, что, кроме подводки под судно цепей, никаких других подводных работ не требуется.

**Способ подъема надстройкой.** Не заделывая в корпусе отверстий, на палубе устанавливают возможно большей площади надстройку, называемую коффердамом (рис. 54). Коффердам, изготавливаемый из деревянных брусьев

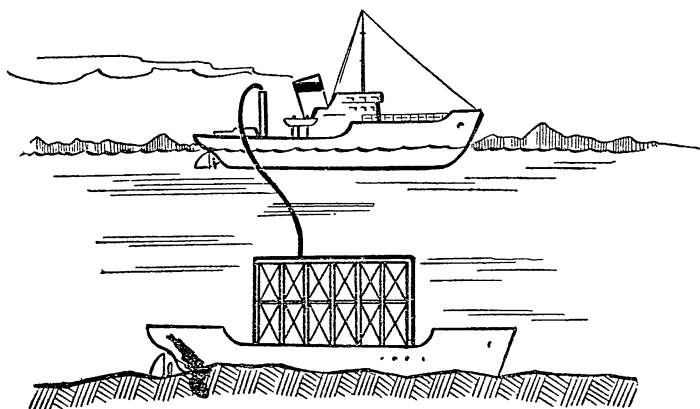


Рис. 54. Подъем судна при помощи надстройки на палубе

и досок, должен быть водонепроницаем, так же как и соединение его нижней части с палубой. Установка коффердама происходит под водой и потому представляет собой большие трудности. Участок палубы, на котором надстраивают коффердам, по возможности наибольший, должен быть также водонепроницаем. Так как из коффердама воду будут откачивать, давление на его стенки изнутри будет становиться меньше давления снаружи. При расчете прочности коффердама это надо учесть, в противном случае он может быть смят избытком давления снаружи. Так как давление жидкости прямо пропорционально высоте столба жидкости, в нижней части стенок коффердама давление снаружи будет наибольшим, а на уровне воды — наименьшим. Коффердам приобретает плавучесть, если откачивать находящуюся в нем воду. Когда освобожденный от воды объем коффердама станет таким, что его плавучесть окажется больше силы тяжести судна (с учетом архимедовой силы, действующей на судно), отрывного сопротивления и силы тяжести коффердама, избыточная плавучесть сообщит судну вертикальную скорость и оно, оторвавшись от грунта, начнет всплывать. Всплытие судна будет тем больше, чем большую площадь палубы охватывает коффердам. После всплытия судно в подводном положении отбуксировывают в плавучий док, где из него откачивают воду.

**Примеры подъема судов.** Попытки подъема затонувших судов предпринимались и в очень древние времена. Так, сохранились сведения, что еще 1000 лет назад в Китае для подъема судов применяли мешки с воздухом. Но отсутствие в те времена технических средств и материалов (в наше время совершенно обычных и необходимых) делало подъем судна необычайно трудным и требовало большого мужества и упорства. Ведь не было ни электрических, ни пневматических инструментов, ни электрических или хотя бы паровых двигателей, которые могли бы приводить в действие мощные помпы, а отсутствие водолазных аппаратов не позволяло спускаться и производить работы на сколько-нибудь значительной глубине. Да и отыскание точного места затопления судна нередко представляло собой большие трудности.

Как пример можно привести работы по подъему испанского корабля «Тохо», затопленного в начале XVIII века в бухте Виго на северо-западе Испании. Этот корабль входил в состав каравана из 24 вооруженных транс-

портов, шедших под охраной нескольких военных кораблей из Вест-Индии в Испанию с большим грузом золота и серебра. В те годы шла война между Испанией и Францией, с одной стороны, и Англией, Голландией и несколькими мелкими государствами — с другой.

Подойдя к Кадиксу, где караван должен был выгрузить свой ценный груз, и обнаружив, что порт блокирован английским флотом, командовавший караваном французский адмирал Шато-Рено направил его в порт Виго. Здесь золото и серебро, по-видимому, были выгружены, однако английские корабли настигли караван и заперли его в порту. Не имея другого выхода, Шато-Рено затопил свои корабли, предотвратив этим их захват превосходившими силами неприятеля.

Прошло без малого сорок лет, и во Франции была создана компания для подъема испанского судна «Тохо», на котором якобы при его затоплении в бухте Виго находилась большая часть вест-индийского золота и серебра. Дело в том, что привозимые из Вест-Индии ценные металлы по закону должны были выгружаться только в Кадиксе, и потому адмиралу Шато-Рено испанские власти Виго якобы отказали в выгрузке груза. Так или иначе, созданная компания решила поднять «Тохо» и поручила подъем судна французскому морскому офицеру Губерту.

Прибыв в июне 1738 года к месту затопления «Тохо» с необходимыми для работ материалами, Губерт выяснил, что судно лежит на илистом грунте и что над его палубой глубина воды при отливе не более пяти метров. Промеры показали также, что ил довольно глубоко засосал корпус.

Первой заботой Губерта было построить плоты, с которых надлежало забить шесть кустов свай для закрепления на них неподвижного устройства, называемого гинями, состоящего из двух блоков с тросами, дающего значительный выигрыш в силе. Гини должны были нажимать на длинную деревянную иглу с острым железным накопечником, к которой был прикреплен небольшой якорь (дрек) с привязанным к нему длинным тросом. Этот трос следовало продеть под затонувшее судно. После забивки свай приступили к рытью канала длиной 19 м, шириной 5 м и глубиной 2,5 м, расположенного перпендикулярно к борту судна. По этому каналу и должна была пройти игла с якорем. Канал рыли вручную со шлюпок при помощи черпаков с длинными рукоятками. Когда канал был готов, приступили к продеванию иглы под днищем судна.

Это оказалось нелегким делом: игла то ломалась, то упиралась в затонувшее судно. После шести-семи месяцев тяжелых работ под «Тохо» удалось продеть первые два подкильных троса диаметром 40 мм, а затем (уже без больших трудов) и третий.

Единственно возможным в те времена способом подъема судов был ступенчатый способ, при помощи затапливаемых и осушаемых барж. Постройка трех барж заняла около восьми месяцев, а пока их строили, заложенными пеньковыми тросами «пропилили» ил вдоль всего днища, что позволило затем легко продернуть под судно 24 троса диаметром 70 мм.

Когда баржи были построены, их поставили на воду над поднимаемым судном и, дождавшись морского отлива, притопили на 0,5 м, налив в них воды. Концы всех канатов закрепили на баржи и туго натянули. Во время ближайшего морского прилива из барж откачали воду, благодаря чему они всплыли и «Тохо» оторвался от грунта. Пользуясь большой водой, баржи с висящим на них судном подтянули к берегу, на более мелкое место, где «Тохо» лег на грунт. В течение последующих двух месяцев, неоднократно повторяя притапливание барж при малой воде и откачивание их при большой, удалось поднять «Тохо» настолько, что из его трюма были выгружены все находившиеся в нем грузы и одну из барж можно было поставить в трюме. Вскоре на этой барже подвели «Тохо» к берегу, где трюм судна был осушен. Работа была окончена в начале февраля 1742 года. Таким образом, для подъема «Тохо» с начала работ до их окончания потребовалось три года и восемь месяцев.

Никакого золота или серебра в трюме «Тохо», как можно было ожидать, не оказалось.

Поучительными и достойными удивления являются упорство и уверенность, с которыми действовал Губерт, ибо многие не хотели верить в возможность подъема судна водоизмещением 1200 Т.

А вот другой пример, показывающий, что представляли собой работы по подъему судна в начале XX века, когда уже существовали пневматические инструменты, паровые насосы и компрессоры, хорошее снаряжение водолазов, вплоть до телефонов, и стальные тросы. Водолазы, специалисты по подъему судов были хорошо обучены и имели большой опыт.

Трехтрубный крейсер английского военно-морского флота «Гладиатор» водоизмещением около 6000 *T* и длиной 100 м во время снежного урагана столкнулся с американским пассажирским пароходом вблизи берега недалеко от порта Виктория и, получив большую пробоину в правом борту, затонул, опрокинувшись на поврежденный борт. Глубина воды в месте затопления была небольшой — 11—14 м, и левый борт корабля возвышался на несколько метров над водой, причем корма находилась в 200 м от берега. Спущенные под воду водолазы доложили, что корабль лежит на песчаной банке, имеющей склон к морю, и что оконечности корабля приподняты над грунтом. Так как в этом месте при отливе течение достигало восьми узлов (около 15 км/ч), что угрожало сдвинуть корабль на более глубокое место, то прежде всего с носа и кормы по направлению к берегу завели два тяжелых якоря.

После тщательного осмотра затонувшего судна был намечен следующий план работ: 1) подтянуть крейсер ближе к берегу; 2) выпрямить его, насколько это окажется возможным; 3) откачав возможно больше воды, заполнявшей корпус, оторвав его от грунта, заставить всплыть.

Подтянуть крейсер к берегу можно было лишь при помощи шпилей, установленных на берегу. Выполнить эту операцию не могли буксиры, так как между затонувшим судном и берегом расстояние было слишком малым. Для выпрямления «Гладиатора» решено было прикрепить к неповрежденному борту тросы, провести их под судном и свободные концы соединить с утопленными вблизи палубы цилиндрическими понтонами, воду из которых намечено было удалить продувкой сжатым воздухом. Кроме того, для увеличения восстанавливающего момента на неповрежденном борту перпендикулярно к нему были поставлены две прочные треноги с гинями, тросы которых подавались на лебедки спасательного судна, стоявшего со стороны моря. Подъем судна решили производить, установив на палубе коффердам. Условия работы очень осложнялись быстрым течением при отливе, так как спасательные суда (их было три), оборудованные насосами, компрессорами, лебедками и другими механизмами, поставленные на якоря бортом к берегу, не могли держаться на месте. Водолазы же из опасения быть смытыми в море или выброшенными приливом на берег могли работать под водой не более двух с половиной часов в день.

Тяжелые шпиль для подтягивания корабля к берегу и их паровые двигатели надо было установить на твердом грунте. Поэтому пришлось вырыть две ямы глубиной по 4,5 м, забетонировать их, а стенки ям поднять выше уровня воды при приливе. В этих ямах укрепили два шпилья, каждый силой тяги 160 кн. Паровые котлы весом по 90 кн, снабжавшие паром двигатели шпильей, поставили на берегу выше шпильей. Пресную воду для питания котлов подавали из водопровода за 300 м от котлов. От шпильей были заведены стальные тросы диаметром 65 мм, которые соединили с якорной цепью, проведенной сквозь оба якорных клюза (трубы на корабле для пропуска якорной цепи) вокруг носовой части корабля.

Прежде чем начать подтягивание судна к берегу, для уменьшения силы тяжести корабля с палубы сняли почти все артиллерийские орудия, дымовые трубы и шлюпбалки, некоторые из которых пришлось удалять взрывами динамитных шашек. Пока шли эти работы, водолазы прорезали отверстия в левом борту «Гладиатора», проникли через них внутрь корабля, выгрузили с него взрывчатые вещества и заделали отверстия в неповрежденных водонепроницаемых отсеках. После этого из отсеков при помощи насосов спасательных судов откачали часть воды, заполнявшей корабль.

Готовясь к выпрямлению и подъему судна, под его корму, возвышавшуюся над грунтом, подвели подкильные подъемные стальные тросы. Подводка была выполнена без больших трудов, однако протягивание тросов под среднюю часть корабля, лежащую на грунте, оказалось делом нелегким. Для этого пришлось прибегнуть к «пропиливанию»: концы тросов были поданы на два судна, одно из которых стало между крейсером и берегом, а другое — с противоположной стороны корабля. Судно у берега медленно травило тросы, а другое тащило их вдоль корабля. Затем концы тросов, выходившие из-под корабля со стороны моря, закрепили на четырнадцать тяжелых кнехтах (тумбах), поставленных на левом борту судна. Противоположные концы этих тросов прикрепили к пяти стальным цилиндрам — понтонам различных размеров, длиной от 12 до 23 м и диаметром от 3,5 до 5,75 м, что создавало плавучесть в 900 Т, а два конца через гини на треногах, установленных на левом борту «Гладиатора», были взяты на лебедки спасательных судов. «Гладиатор» немного подтянули к берегу. После этого сделали пробное

выпрямление крейсера, что изменило крен с 90 до 67°. Потом приступили к окончательному выпрямлению. Но при попытке дальнейшего изменения крена оказалось, что восстанавливающий момент, создаваемый осушением цилиндров и натяжением тросов с треног, недостаточен. Установили еще два цилиндра, а число помп, откачивавших во время выпрямления воду из корабля, значительно увеличили. Кроме того, на боковой киль левого борта, возвышавшийся над водой, уложили 200 т свинцовых чушек, которые по мере выпрямления крейсера сваливались бы в воду. Возникло опасение, что вода, находившаяся в корпусе, при выпрямлении хлынет к левому борту и «Гладиатор» опрокинется с правого борта на левый. Ввиду этого по диаметральной плоскости корабля водолазы установили водонепроницаемую переборку. Для того чтобы было возможно откачивать воду после того, как судно будет выпрямлено, вокруг люков на палубе были установлены водонепроницаемые стенки коффердама, которые после выпрямления судна должны были возвышаться над уровнем воды. Когда все было готово, все устройства по команде пришли в действие: заработали помпы, из цилиндров стала выходить вода, а вспомогательные суда с тросами от гиней дали полный ход назад. Работа шла слаженно, устройства оказались достаточно прочными, расчеты верными, и «Гладиатор» стал медленно, но без задержек выпрямляться. Водолазы заделали все отверстия на палубе, и из коффердама была откачана вода. «Гладиатор» всплыл, но стремился опять повалиться на правый борт. Поэтому с одного из спасательных судов на крейсер завели трос, которым крейсер удерживался в прямом положении. В таком состоянии корабль был отбуксирован в Портсмут и там введен в док для ремонта.

Работы по подъему «Гладиатора» производились в мирное время, в непосредственной близости от берега, где любую техническую помощь можно было быстро получить от близлежащего порта с хорошо оборудованными мастерскими. Эти работы потребовали постройки семи специальных дорогостоящих цилиндров-понтонных, четырнадцати литых кнехтов и другого оборудования.

Невольно напрашивается сравнение с работой русских моряков и водолазов по подъему турецкого крейсера «Меджидие».

С большим умением и мужеством русские моряки и водолазы очень быстро, без больших затрат и специаль-

но изготовленного дорогого оборудования и приспособлений, несмотря на близость неприятельского флота и заминированных полей, произвели в 1915 году подъем и не менее сложную буксировку турецкого крейсера «Меджидие», подорвавшегося на русских минах вблизи Одессы.

Шла первая империалистическая война 1914—1918 гг. В марте 1915 года корабли Черноморского флота бомбардировали Босфор и турецкое побережье. В ответ отряд германо-турецкого флота был послан произвести бомбардировку Одессы. Бомбардировка Одессы, по замыслу германо-турецкого командования, должна была показать России, что турецкий флот может свободно крейсировать по Черному морю и что поэтому судоходство между Одессой и другими портами черноморского побережья невозможно.

Для этой операции выделили два турецких крейсера «Меджидие» и «Гамидие», а для их охранения четыре эскадренных миноносца. Прикрытие отряда на случай появления русских кораблей было возложено на германские крейсера «Гебен» и «Бреслау».

Первого апреля отряд вышел из Босфора. Туркам было известно, что в 16 км от Одессы русскими поставлено минное заграждение. Поэтому при подходе отряда к Одессе миноносцам, шедшим головными, было приказано начать траление мин. На рассвете 3 апреля выяснилось, что отряд снесен с курса течением и находится в 28 км от Одесского маяка. Вскоре после того, как отряд лег на новый курс, «Меджидие», несмотря на то что шел точно за тралом, наткнулся на мину, которая взорвалась с левого борта в районе носовой кочегарки. Застопорили машины, но по инерции крейсер продолжал двигаться и, сойдя с фарватера, оказался на мелководье. Нос «Меджидие» стал быстро уходить под воду, корабль, набрав воды, накренился на левый борт на 10°. Сыграли водяную тревогу. Задраили все люки нижней палубы и двери всех водонепроницаемых переборок. Переговорные трубы, по которым вода из затопленных носовых помещений стала распространяться по кораблю, забили пробками. Заработали все водоотливные помпы, но пробойна была настолько велика, что справиться с втекающей водой им не удавалось, и носовая часть корабля продолжала уходить под воду. Увеличивался и крен. Вскоре под воду ушел весь бак, фальшборт (легкая бортовая обшивка, возвышающаяся над палубой) и носовое орудие левого борта. Командир «Меджидие» счел положение корабля безнадежным и спу-



стя сорок минут после взрыва мины отдал команду оставить корабль. Выбросили за борт орудийные затворы, привели в негодность радиостанцию, и, когда все покинули крейсер, один из миноносцев пустил по нему торпеду. Торпеда попала в кормовой артиллерийский погреб правого борта. От взрыва корабль вздрогнул, выпрямился и быстро погрузился настолько, что над водой остались лишь мачты, дымовые трубы, верхний ходовой мостик и часть орудий. Следовавший за «Меджидие» крейсер «Гамидие» после взрыва мины застопорил машины и, опасаясь подорваться, дал ход назад. Вскоре все корабли отряда развернулись и ушли в Босфор. Операция была сорвана.

Получив 4 апреля извещение о затоплении неприятельского крейсера, русское командование распорядилось осмотреть его, и после первого беглого осмотра было решено поднять «Меджидие». Последующий осмотр корабля показал, что в носовой подводной части имеется пробоина размерами  $1,83 \times 2,13$  м и вокруг нее большая вмятина в обшивке; кромки пробоины загнуты внутрь. В кормовой части обнаружена пробоина в правом борту размерами  $3,66 \times 6,1$  м, в некоторых местах листы обшивки разошлись, образуя многочисленные трещины. Негодными оказались 22 листа обшивки правого борта и 18 — левого. Набор (конструкция) корпуса и второго дна в районе пробоины разрушены; разрушение получили и многие водонепроницаемые переборки. В некоторых местах верхняя палуба была погнута, а в районе кормовой пробоины совершенно разрушена. Многочисленные повреждения имели котельное и машинное отделения. Сильно пострадали и корабельные системы: водоотливная, пожарная, санитарная и др. Подсчеты показали, что корабль принял 411 т воды.

В тот же день, 4 апреля, к затопленному кораблю подошли русские минные тральщики и начали его разгрузку, а затем и траление района предстоящих работ. Тем временем готовили суда, которым предстояло произвести подъем «Меджидие». Через две недели к месту работ подошли буксиры с баржами, ледокол с подъемным краном, катер и три водолазных бота. Работу начали с того, что с «Меджидие» водолазы сняли артиллерийские орудия. Затем деревянными толстыми досками надстроили разрушенную часть борта. Чтобы оградить место работы от волн и ветра, бортом к крейсеру поставили на якоря

транспортное судно и установили забор из бревен. Эти работы продолжались до 3 мая, после чего приступили к подрезке кия и заводке подкильных тросов для прижатия к корпусу пластырей. С этими работами справились легко, но тут началось половодье, и сильные течения с Буга и Днестра замутили воду, что очень затруднило работу водолазов. Пока изготавливали пластыри на пробойны, произвели пробное откачивание воды с жилой палубы. К 3 июня оба пластыря были готовы, кормовой имел размеры  $9,75 \times 8,53$  м, а носовой —  $9,75 \times 7,92$  м. На следующий же день их поставили на места и начали притягивать к бортам ранее заведенными тросами. Эту работу выполнили ледакол и буксир, взяв концы тросов на барабаны своих лебедек. Когда пластыри сели плотно, приступили к откачке воды, и вскоре корма «Меджидие», оторвавшись от грунта, стала медленно всплывать. Тогда увеличили число водоотливных помп и стали готовить фарватер к буксировке всплывшего корабля. Чтобы обезопасить крейсер от накренения при полном всплытии, с обоих бортов поставили два судна с заведенными на корабль стальными оттяжками. К 14 часам 7 июня «Меджидие» всплыл, и его решили немедленно буксировать в Одессу, так как ветер стал свежеть и появились опасения, что на море разыграется сильное волнение. Два буксира подали концы на «Меджидие», и караван двинулся в путь. Рядом с «Меджидие», кроме судов с оттяжками, которые страховали его от опрокидывания, шли другие два, непрерывно откачивавшие из него воду, оставшуюся после затопления и проникающую сквозь неплотности в корпусе.

Спустя несколько часов наблюдавшие за состоянием крейсера заметили, что кормовой пластырь от давления воды снаружи вдавливается внутрь корпуса, его парусиновая обшивка порвалась во многих местах и доски пластыря лопаются; сквозь образовавшиеся в пластыре щели вода мощными струями прорывается в корпус. На «Меджидие» послали водолазов, которые должны были подпереть пластырь брусками. Все увеличивавшееся поступление воды и повреждения пластыря ставили водолазов под угрозу быть затопленными. Работу пришлось прекратить. Положение становилось критическим: если пластырь выйдет из строя, пробоина откроется и корма, а за ней и весь корабль затонет на большой глубине. Надо было немедленно найти выход из создавшегося положения.

Караван стал. Помощник флагаманского водолаза (помощник офицера — флагаманского специалиста подводника, ведающего водолажными работами) перешел на затопленный корабль и спустился в его трюм. Стоя по пояс в воде, он сам начал устанавливать распорки, удерживающие пластырь на месте. Когда три подпорки были поставлены, следуя его примеру, приступили к работе и другие водолазы. Прежде чем пластырь перестал пропускать воду, пришлось поставить 25 подпорок. Опасность затопления «Меджидие» миновала, и караван продолжал свой путь. Вскоре оказалось, что опасения за погоду были не напрасны. Все увеличивавшаяся зыбь порвала буксирный трос одного из буксиров. Каравану опять пришлось стать, чтобы завести новый трос. Наконец, в 9 часов вечера при свете прожекторов военного корабля караван вошел в Одесскую гавань. На следующее утро буксировка «Меджидие» к плавучему доку продолжалась. С приближением каравана к доку судам, откачивавшим воду, пришлось отойти, чтобы не мешать вводу крейсера в док. Вода в трюмах «Меджидие» стала прибывать, а его осадка — увеличиваться. Док затопили до предела, но полностью ввести «Меджидие» в док не удавалось: глубоко сидевшая корма оставалась в воде. Тогда попытались поднять кормовую часть, откачивая воду из дока, но плавучесть дока оказалась недостаточной и оторвать корму «Меджидие» не удалось. Утром следующего дня к доку пришлось подвести буксир, который, работая непрерывно в течение пяти суток, откачал из «Меджидие» почти всю воду. Лишь после того как с крейсера сгрузили 250 т угля, 400 артиллерийских патронов и снарядов, 31 июня «Меджидие» был полностью введен в док для ремонта.

Эту сложную операцию удалось провести благодаря четкой, слаженной работе русских моряков и водолазов, их упорству, мужеству и тщательно произведенным расчетам. Ведь необходимо было откачивать при буксировке воду из носовой и кормовой частей корабля так, чтобы он не получил внезапно опасного дифферента. Буксиры справились с этой задачей очень точно, несмотря на то что воду откачивать приходилось на ходу при зыби, в опасной близости от минных полей. Вся операция по спасению «Меджидие» продолжалась 54 сут и потребовала работы 100 человек.

Когда молодая Советская республика в 1922 году победоносно окончила гражданскую войну, перед ней встал

очень важный для народного хозяйства вопрос о подъеме и восстановлении большого числа затонувших судов. На дне Камы лежало около ста судов, на дне Черного моря — около 350. Немало гражданских и военных судов погибло в Балтийском море и на многих реках. Для массового подъема судов была создана специальная судоподъемная организация, сокращенно названная ЭПРОН (экспедиция подводных работ особого назначения).

За первые десять лет своей работы ЭПРОН поднял со дна 110 судов, из которых 76 были восстановлены и вновь вошли в строй, а остальные общим весом 130 000 кн пошли на ценный тогда металлолом.

В 1854 году во время Севастопольской обороны в Балаклавскую бухту пришел английский деревянный паровой фрегат «Черный принц», доставивший золото для выплаты жалования английским войскам, осаждавшим Севастополь. При подходе к Балаклаве фрегат был застигнут сильнейшим штормом, от которого погибли многие корабли неприятельского союзнического флота. Затонул и «Черный принц». После войны распространился слух, что «Черный принц» не успел выгрузить свой ценный груз. Русское правительство решило завладеть золотом, лежавшим на дне Балаклавской бухты. Начались многократные попытки отыскать место гибели фрегата. Эти попытки не дали результата. Тогда отыскание «Черного принца» стали поручать иностранным судоподъемным фирмам. Но и иностранные водолазы не отыскиали корабля. В 1923 году в Советской республике вспомнили о «Черном принце» и его отыскание было поручено ЭПРОНу. Вскоре после начала работ «Черный принц» был найден. Водолазы ЭПРОНа обследовали все его помещения, но, кроме нескольких золотых монет, никакого золота не обнаружили. По-видимому, золото успели выгрузить до гибели корабля. Этим был положен конец легенде о золоте «Черного принца».

В последующие годы ЭПРОН поднял многие гражданские и военные суда. Так, в 1924 году со дна Черного моря была поднята русская подводная лодка «Пеликан», в 1925 году — нефтеналивной теплоход «Эльбрус» (подъем которого был описан ранее), тральщик «Перванш», эскадренный миноносец «Каликрия» и целый ряд других судов. В 1931 году ЭПРОН поднял со дна броневые артиллерийские башни русского линейного корабля «Императрица Мария», погибшего в 1916 году у Севастополя

от взрыва и пожара в носовой кюйт-камере, хранивший двенадцатидюймовые (305 мм) заряды.

Работая в северных широтах, ЭПРОН в 1933 году поднял со дна Кандалакшинской бухты с глубины 25 м ледокольный пароход «Садко» водоизмещением 2400 Т. После восстановления «Садко» в 1935 году, достигнув во время одной экспедиции высоких широт, установил рекорд дальности проникновения на север свободно-плавающего судна. Этот рекорд с 1908 года принадлежал американской экспедиции Пири. В том же 1933 году у берегов Шпицбергена ЭПРОН в очень трудных северных условиях произвел замечательные работы по спасению ледокольного теплохода «Малыгин», севшего на подводные камни и получившего огромную пробоину. Восстановленный «Малыгин» участвовал во многих северных океанографических экспедициях.

ЭПРОН поднял со дна и многие суда, затонувшие во время Великой Отечественной войны.

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

Вы познакомились в общих чертах с тем, какую роль играет в судостроении архимедова сила. Плаучесть, остойчивость, непотопляемость — эти важнейшие качества судна основаны на архимедовой силе; существенное значение она имеет и при подъеме затонувших судов.

Постройка судна еще не закончена, а архимедова сила уже должна быть учтена. В самом деле: на воду спускают лишь готовый корпус, установку же главного двигателя, оборудования, а также достройку судна производят на воде. Спускают судно обычно кормой вперед. Когда корма входит в воду, архимедова сила заставляет ее всплывать, носовая же часть еще находится на наклонных спусковых путях стапеля. Если архимедова сила окажется слишком большой, нос может упереться в спусковые пути настолько сильно, что корпус получит серьезные повреждения. Если же она будет слишком малой, корма уйдет под воду. Как видите, архимедову силу приходится рассчитывать с самого начала жизни судна на воде.

Расчеты плаучести, остойчивости, непотопляемости разработаны теперь очень полно и для судостроителей больших трудностей не представляют. Но эти качества

судна приходится увязывать с другими, которыми судно должно обладать: ходкостью (способностью ходить с заданной скоростью), поворотливостью, умеренной качкой, прочностью. Построить судно, обладающее всеми желаемыми качествами в полной мере, сложно, так как эти качества часто противоречивы.

Так, например, мы знаем — судно более остойчиво, когда его ширина достаточно большая, а центр тяжести расположен низко. Но увеличение ширины судна, влечет за собой увеличение его сопротивления на ходу, встречаемое со стороны воды, а увеличение сопротивления уменьшает скорость хода или требует установки более мощных, более тяжелых двигателей и большего расхода топлива, а следовательно, и увеличения водоизмещения. Чем ниже расположен центр тяжести, тем стремительней качка судна; стремительная качка распатывает конструкцию корпуса и механизмов и делает плавание утомительным для пассажиров и экипажа.

Другой пример. Безопасное накренение судна на большие углы и большой запас плавучести требуют высокого водонепроницаемого надводного борта. Но более высокий надводный борт увеличивает площадь боковой поверхности, или, как говорят, парусность судна. От этого кренящий момент при боковом ветре становится больше и, кроме того, становится более заметным снос судна с курса. К тому же высокий надводный борт увеличивает весовое водоизмещение и повышает центр тяжести корпуса.

Поэтому судостроителю приходится искать некоторое среднее решение, учитывая возможные состояния моря, погоду района плавания судна. Этим и объясняется большое разнообразие в размерах, обводах, конструкции и архитектуре судов.

Прежде чем окончательно остановиться на типе судна и его главных элементах, судостроителю приходится изучить целый ряд вариантов выбрать из них тот, который более всего удовлетворяет требованиям.

При создании судна необходимо учитывать не только техническую, но и экономическую сторону. Постройка судна должна быть экономичной, а всякое транспортное или промысловое судно — рентабельным, т. е. приносящим доход. Это также является задачей судостроителей.

Как видим, на пути создания судна стоят очень многие разнообразные, сложные задачи и каждая из них для правильного решения требует больших знаний.

Сделать проект современного более или менее крупного судна одному человеку не под силу. Для этого требуется большой, слаженный коллектив судостроителей различных специальностей. Необходимы специалисты по корпусу, двигателю, оборудованию, технологии, электротехнике и т. п. В постройке современного судна участвуют очень многие специалисты. Судостроители должны знать все новейшие достижения различных отраслей промышленности, уметь разбираться в качестве их продукции и согласовывать ее со всеми требованиями к судну.

Как многих влечет к себе романтика моря! Но не все знают, что за ней кроется большая работа, требующая глубоких знаний.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

*П р е д и с л о в и е*

3

*Г л а в а I*

КОРАБЛИ БЫВАЮТ РАЗНЫМИ

8

*Г л а в а II*

ЧТО ДЕРЖИТ СУДНО НА ВОДЕ?

29

*Г л а в а III*

КАК ВЫЧИСЛЯЮТ ВОДОИЗМЕЩЕНИЕ СУДНА

55

*Г л а в а IV*

КОГДА КОРАБЛИ НЕ ОПРОКИДЫВАЮТСЯ

69

*Г л а в а V*

КАК ПОДНИМАЮТ ЗАТОНУВШИЙ КОРАБЛЬ

90

*П о с л е с л о в и е*

108



*ЛЕВ МИХАЙЛОВИЧ КРИВОНОСОВ*

## **КАКИМИ БЫВАЮТ КОРАБЛИ**

---

Редактор *Л. С. Мордовцева*  
Художественный редактор *Т. А. Алябьева*  
Технический редактор *З. Б. Хамидулина*  
Корректор *Н. И. Новикова*



Сдано в набор 10/IV 1973 г.  
Подписано к печати 4/XII 1973 г.  
84×108<sup>1/32</sup>. Бумага типографская № 3.  
Печ. л. 3,5. Условн. л. 5,88: Уч.-изд. л. 5,82.  
Тираж 100 тыс. экз. Заказ 3092. А-13708.



Издательство «Просвещение»  
Государственного комитета Совета Министров РСФСР  
по делам издательств, полиграфии  
и книжной торговли.  
Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Областная типография управления издательств, полиграфии  
и книжной торговли Ивановского облисполкома,  
г. Иваново-3, ул. Типографская, 6.

**Цена 15 коп.**

15 к.

