

Федеральное агентство по образованию Российской Федерации

Филиал «СЕВМАШВТУЗ» государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургского государственного морского технического университета» в г. Северодвинске.

Федотов Дмитрий Геннадьевич

## ТЕОРИЯ И УСТРОЙСТВО КОРАБЛЯ

Методическое пособие и контрольные задания  
Для студентов заочного отделения

Северодвинск  
2008

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее методическое пособие по дисциплине «Теория и устройство корабля» дает студентам достаточно полное представление об основных особенностях производственной деятельности по специальностям, связанным с созданием судов и их оборудования. Оно предназначен для будущих инженеров-кораблестроителей... Дисциплина «Теория и устройство корабля» носит энциклопедический характер. Ее методологические основы заложены проф. К. П. Боклевским — первым деканом кораблестроительного отделения Санкт-Петербургского Политехнического института, читавшим курс «Энциклопедия судостроения» с момента основания этого отделения в 1902 г. Глубокую разработку дисциплина получила в учебнике академика В. Л. Поздюнина «Энциклопедия судостроения», вышедшем в 1935 г. и переизданном в 1951 г. Позднее вышли учебники «Основы судостроения» (Д. В. Дорогостайский, Н. Я. Мальцев, А. Д. Чернов, Л., 1952) и «Общее устройство судов» (А. М. Ваганов, А. Б. Карпов, Л., 1965). Упомянутые учебники сыграли большую роль в формировании инженеров широкого профиля.

### 1 История развития кораблестроения/судостроения.

Судостроение одна из древнейших отраслей промышленности. Начало его отделено от нас десятком тысячелетий. Она столь же многогранна и насчитывает столько же веков, как и сама история человечества.

С незапамятных времен люди использовали водные просторы - реки, озера, море - сперва как охотничьи угодья, а затем как удобные дороги для переезда и перевозки грузов. Первые примитивные суда появились за долго до колесной повозки. Человек вышел в море на самой заре своего становления. Мифология старинные описания путешествий и саги позволяют собирать о судах сведения. Порой в них весьма детально сообщается о постройке и оснастке "первых судов", с указанием, что построили их люди по воле богов. Так обстоит дело с ноевым ковчегом.

Самый старый челн-однодеревка из Пессе, Гранинген (Нидерланды), -6315 + 275 г. до н.э. Уже примерно 2500 лет до н.э. суда были различными: для перевозки грузов, для перевозки пассажиров. Они приводились в движение шестами, веслами и парусами. В те времена суда были в основном военными, торговыми или рыбацкими. Позднее появились суда для отдыха, на которых плавали просто ради развлечений.

Такое судно римский император Калигула (37 - 41 гг. н.э.) приказал построить для своей увеселительной поездки на оз. Нэли. Необычно широкая и плоская конструкция судна объясняется его назначением: корабль для придворных увеселений. Собственно корпус был набран из дерева, а в качестве подпор верхней палубы использовали полые балки из обожжен-

ной глины. Для обеспечения непроницаемости и сохранности судна доски внешней обшивки были покрыты свинцовыми пластинами, внутренний настил состоял из мраморных плиток.

На Руси судостроение и мореплавание были известны с самых отдаленных времен. Наскальные рисунки, датируемые примерно 3000 лет до н.э., изображающие охоту с гарпуном на морского зверя встречались на побережье Белого моря.

Одно из древнейших судов, обнаруженных на территории России, датируют примерно 5в. до н.э.

Во всех славянских языках существует слово корабль. Корень его - "кора" - лежит в основе таких слов, как "корзина". Древнейшие русские суда делались из гибких прутьев, как корзина и обшивались корой (позднее - кожами). Известно, что уже в 8 в. наши соотечественники плавали по Каспийскому морю. В 9 и первой половине 10 в. русские являлись полными хозяевами Черного моря, и не даром в то время восточные народы называли его "Русским морем".

В 12 в. на Руси впервые были построены палубные суда. Палубы, предназначенные для размещения воинов, одновременно служили защитой гребцам. Славяне были искусными судостроителями и строили суда различных конструкций:

- шитик - плоскодонное судно с навесным рулем, оснащенное мачтой с прямым парусом и веслами;
- карбас - оснащался двумя мачтами, несущими прямые рейковые или шпринтовые паруса;
- поморская лодья - имела три мачты, несущие по прямому парусу;
- раньшина - судно, где корпус в подводной части имел яйцевидную форму, благодаря этому при сжатии льдов, среди которых приходилось плавать, судно "выжималось" на поверхность, не подвергаясь деформациям и снова погружалось в воду при расхождении льдов.

Организованное морское судостроение в России началось в конце 15 в., когда в Соловецком монастыре была основана верфь для постройки промысловых судов. Позднее уже в 16-17 вв. шаг вперед сделали запорожские казаки, совершавшие на своих "Чайках" рейды на турок. Методика постройки была такой же как при изготовлении киевских набойных лодей (чтобы увеличить размер судна к долбленной середине с боков прибавалось несколько рядов досок).

В 1552 году после взятия Иваном Грозным Казани, а затем и завоевании в 1556 г. Астрахани, эти города становятся центрами строительства судов для Каспийского моря.

При Борисе Годунове были предприняты безуспешные попытки ос-

новать в России военный флот.

Первое в России морское судно иноземной конструкции "Фридерик": 2 палубы, 3 мачты, артиллерия, LxVxT=36.5x12x2.1 м, он принимал на борт 78 человек, было построено в 1634 году в Нижнем Новгороде русскими мастерами. В 1667-69 г. на верфи в с. Дединове был построен морской корабль "Орел" организатором постройки был боярин Ордын-Нашекин. Дальнейшее развитие русского флота тесно связано с именем Петра Первого.

В июне 1693 г. Петр I заложил в Архангельске первую казенную верфь для постройки военных кораблей. Через год Петр снова посетил Архангельск. К этому времени 24-пушечный корабль "Апостол Павел", фрегат "Святое Пророчество", галера и транспортное судно "Фламов" образовали на Белом море первую русскую военную флотилию. Началось создание регулярного военно-морского флота.

Строительство регулярного российского флота как государственная политика берет начало 20 октября 1696 г. (по старому стилю), когда в связи с завоеванием крепости Азов Боярской Думой было принято постановление "Морским судам быть...".

Весной 1700 г. был построен 58-пушечный корабль "Гото Прдисти-нация". В 1702 г. в Архангельске были спущены два фрегата: "Святой Дух" и "Меркурий". В 1703 г. был заложен Санкт-Петербург центром которого стало Адмиралтейство - самая большая судостроительная верфь в стране. Первым крупным судном, сошедшим со стапеля Адмиралтейской верфи был построенный Федосием Склеяевым и Петром Первым в 1712 г. 54-пушечный корабль "Полтава". К 1714 г. Россия имела свой парусный флот.

Самым большим судном петровского времени был 90-пушечный корабль "Лесное" (1718г.).

При Петре I были введены следующие суда:

- корабли - длиной 40-55 м., трехмачтовые с 44-90 пушками;
- фрегаты - длиной до 35 м., трехмачтовые с 28-44 пушками;
- шнявы - длиной 25-35 м., двухмачтовые с 10-18 пушками;
- пармы, буера, флейты и др. длиной до 30 м.

В 1719 г. крепостной Ефим Никонов обратился к Петру с челобитной о разрешении на постройку модели первого "потаенного" судна. Первое испытание, состоявшееся в 1724 г. окончилось неудачей, а после смерти Петра I все работы были прекращены.

В "Уставе Морском обо всем, что касается доброму управлению в бытность флота на море" 1720 г. в предисловии сам Петр I писал: "Корабельное дело доселе у нас (ино)странное, что едва о нем писали". Действительно в конце XVII века из 20 тыс. судов в Европе 16 тыс. принадле-

жало Голландии.

Петр I, получив опыт при своей поездке в Европу, наладил постройку российских кораблей, общее число которых за время его правления превзошло 1000 ед. (точнее, за период 1688-1725 гг. - 1104 судна (в т.ч. 146 линейных кораблей). При Петре Великом Россия стала общепризнанной мировой морской державой. Развитие судостроения дало толчок становлению и смежных отраслей промышленности. В начале XVIII в. было построено 5 металлургических заводов, а также ряд оружейных, медеплавильных, парусных, канатных и др. предприятий, судостроительные верфи, Вышневолоцкая система каналов для соединения Волги с Балтикой.

И все же это было время, когда постройка судна была искусством, а не наукой. Судостроители опирались только на накопленный опыт. В изданной в 1774 году в Санкт-Петербурге книге Н. Курганова "Наука морская" есть констатация этого: "... строение судна производилось без правил, зная только, что острые носы и узкие кормы много способствуют доброму ходу, что высокие борды защищают от волнения, что судам назначенным для плавания подле берегов и через мели должно быть плоскодонными, а для открытого моря острокильными, и что мачта должна быть равна длине судна.

В 1724 году была основана Петербургская Академия наук. В ней потом работали Даниил Бернулли (8 лет) - его труд в России "Гидродинамика, или записки о силах и движениях жидкости", а также Леонард Эйлер, создавший фундаментальный труд "Морская наука" (1743 г), а затем вторую книгу, вышедшую позднее, в русском переводе Михайло Головина "Полное умозрение строения и вождения кораблей" (1778 г). После Петра I наступил упадок флота, особенно при Анне Иоанновне. В 1748 г. Адмиралтейств-коллегия доносила: "... весь флот и адмиралтейство в такое разорение и упадок приходит, что уже со многим временем поправить оное будет трудно".

В царствование Екатерины II началось возрождение российского флота, появились знаковые для морской истории России города Херсон и Севастополь.

Успешные войны России на море, великие географические открытия Ивана Крузенштерна, Юрия Лисянского, Фаддея Беллинсгаузена, Михаила Лазарева - это наиболее заметные вехи морской славы России.

При Павле I (он имел звание генерал-адмирала) учрежден Особый комитет при Адмиралтейств-коллегии - прообраз Морского ученого комитета. "Издание полезных сочинений, назначение разных статей для перевода с иностранных языков, задание к решению вопросов касательно кораблестроения". В состав этого комитета вошел и Платон Гамалея (1766-1817) - автор книги "Высшая теория морского искусства", член Россий-

ской и Санкт-Петербургской академий. В это же время издан "Морской словарь", автором которого был адмирал Шишков.

Период затишья, пережитый русскими судостроителями после смерти Петра I сменился во второй половине 18 в. новым подъемом, а к концу 18 в. был создан Черноморский флот. Появился весьма совершенный для своего времени (кон. 18 в.) тип деревянного грузового судна - расшива.

В начале 19 в. была введена технически обоснованная классификация судов. В правление Александра I судостроительные работы были сокращены, но речное судостроение продолжалось.

Совершенствование судов не обошло и Россию. Она стала третьей после США и Англии страной, где была освоена постройка пароходов. Первый рейсовый пароход на линии Петербург-Кронштадт был построен в 1815 г.

В начале 19 в. на судах появились паровые машины, а использование сначала кованного железа, а затем прокатной стали в качестве конструкционного материала при постройке судов привело в 1850-60 гг. к революции в судостроении.

Во второй половине 19 в. на смену деревянным кораблям пришли железные. Любопытно, что в России первыми военными металлическими кораблями оказались две подводные лодки в 1834 г. В 1835 г. было построено полуподводное судно "Отважный". Оно погружалось ниже уровня моря оставляя над водой только дымовую трубу.

В 1830 г. в Петербурге было спущено на воду грузопассажирское судно "Нева", имевшее кроме двух паровых машин еще и парусное вооружение. В 1838 г. в Петербурге прошел испытания на Неве первый в мире электроход. В 1848 г. Амосов построил первый в России винтовой фрегат "Архимед".

Переход к строительству железных судов потребовал введения нового технологического процесса и полного преобразования заводов.

В 1864 г. была построена первая в России броненосная плавучая батарея. В 1870 г. в составе Балтийского флота было уже 23 броненосных корабля.

Особенно бурно стало развиваться пароходство на Волге и других реках после отмены крепостного права в 1861 г. Главным судостроительным предприятием стал основанный в 1849 г. Сормовский завод. Здесь были построены первые в России железные баржи и первый товаропассажирский пароход. Первое в мире применение двигателя Дизеля на речных судах было осуществлено также в России в 1903 г.

1876 г. ознаменован постройкой броненосного корабля "Петр Великий", имевший водоизмещение 9665 т, бортовой броневой пояс толщиной

903-356 мм, защиту палубы броневыми плитами в 76 мм толщиной. Среди его вооружения четыре орудия калибром 306 мм. Его скорость - 14,5 узлов. Это, по признанию англичан - один из сильнейших кораблей своего времени. Его строителем был известный инженер-кораблестроитель Михаил Окунев (1810-1873 гг.). Им в 1836 г. была выпущена книга "Опыт сочинения чертежей военным судам", а позднее "Теория и практика кораблестроения".

В 1877 г. Макаровыми были сконструированы первые торпедные катера в мире. В том же году был спущен первый в мире мореходный миноносец "Взрыв".

В развитии корабельных наук России принял участие и знаменитый химик Д.И. Менделеев, по инициативе которого в России был создан первый опытовый бассейн (1894 г.). С 1900 г. бассейном руководил А.Н. Крылов, а с 1908 г. - И.Г. Бубнов. Это уже имена из поздней блистательной истории кораблестроения России, в которой следует выделить и имена адмирала С.О. Макарова, Н.Е. Жуковского.

На 1 января 1900 г. в составе морского торгового флота России было 727 пароходов, и 2249 парусных судов, из них 74% по количеству, и 81,8% по тоннажу было построено на заграничных верфях. Стоимость постройки судов на русских судостроительных заводах на 70% превышала стоимость такой постройки за рубежом.

Военные корабли 1894 -1909 г. постройки на 86,9% по тоннажу - российской постройки. Механизмы практически полностью - заграничные.

Русское транспортное судостроение конца 19 в. значительно отставало от военного. В 1864 г. было построено первое ледокольное судно "Пайлот". В 1899 г. построен ледокол "Ермак" (плавал до 1964 г.)

Судостроительная промышленность, являясь одной из важнейших отраслей народного хозяйства и обладая научно-техническими и производственным потенциалом, оказывает решающее влияние на многие другие смежные отрасли и на экономику страны в целом, а также на её обороноспособность и политическое положение в мире. Именно состояние судостроения является показателем научно-технического уровня страны и её военно-промышленного потенциала, аккумулируя в своей продукции достижения металлургии, машиностроения, электроники и новейших технологий.

## **2 История развития кораблестроительного образования.**

Если говорить о кораблестроительном образовании, то оно также началось со времен и деяний Петра I, отправлявшего волонтеров на обучение за рубеж. Он же развивал традицию создания школ лучших кора-

бельных мастеров, обязанных обучать, готовить учеников. В 1701 г. в Москве была основана Школа математических и навигационных наук для обучения специалистов по морскому делу - первое в России морское учебное заведение.

В 1715 году из этой Школы выделилась Петербургская Морская Академия.

В 1752 году - новое учебное заведение только для детей дворян - Морской шляхетный кадетский корпус, в его состав вошли Морская академия и Гардемаринская рота.

По указу Павла I в Петербурге и Херсоне были созданы Училища корабельной архитектуры для подготовки специалистов по кораблестроению и машинному делу высшей квалификации. В Петербурге первый выпуск Училища в количестве 18 человек состоялся в 1802 году. С 1817 по 1827 год выпуск составил всего 40 человек. Здесь готовили корабельных инженеров.

В 1872 году это училище было переведено в г. Кронштадт с новым названием "Техническое училище Морского Ведомства". В его стенах преподавал известный кораблестроитель И. Алымов, автор учебника "Теория корабля" (1 часть - "Качка судна на тихой воде", 2 часть - "Качка судна на волнении", здесь же преподавал изобретатель радио - Александр Попов").

Это училище закончили, в частности:

- руководитель постройки первого русского винтового парохода "Архимед" - Иван Афанасьевич Амосов;
- Константин Петрович Боклевский (окончил в 1884 году) - первый декан Кораблестроительного отделения СПб Политехнического института;
- Иван Бубнов (окончил в 1891 году) - создатель строительной механики корабля и автор блестящих работ по проектированию судов.

И в то же время развитие кораблестроения и кораблестроительного образования в России на рубеже XIX - XX веков дало основание Главному инспектору кораблестроения и автору проекта крейсера "Рюрик" Николаю Кутейникову в докладе "О высших школах судостроения" (1897 г.) заявить, что "суда морские у нас почти все иностранные". Тем не менее он констатировал и то, что "... в стране есть ресурсы, материальная часть обеспечена, но нужен технический персонал для судостроения". Его вывод состоял в том, что необходимо "обобщение морского собственно инженерного образования и отделение его от образования более или менее ремесленных судостроителей и механиков". По мнению Н. Кутейникова инженер-кораблестроитель должен проектировать и руководить строительством судна. В 1885 году в России из 22322 руководителей промыш-

ленных предприятий только 1607 человек имели высшее и среднее техническое образование, из которых 1072 были русские и 535 - иностранцы. Эти выводы и факты послужили также как и положение дел в других отраслях промышленности основанием для создания Санкт-Петербургского Политехнического института Петра Великого.

Инициатива министра финансов России Сергея Витте способствовала открытию в 1898 году Киевского и Варшавского политехнических институтов.

19 февраля 1899 года утвержден доклад С. Витте об образовании Санкт-Петербургского Политехнического института (СПбПИ).

Уже 22 февраля 1899 года была совершена купчая крепость на покупку земельного участка.

23 февраля 1899 года создана особая строительная комиссия по сооружению зданий СПбПИ.

12 апреля 1899 года - принято решение, что число студентов в ПИ устанавливается в 1855 человек, определен аудиторный фонд.

2 марта 1900 года за границу командированы будущий директор института, князь А.Г. Гагарин и Э.Ф. Виррих для знакомства с опытом работы учебных заведений Англии, Бельгии, Германии, Франции, Австрии, Венгрии, Швейцарии (они посетили 36 учебных заведений). Использовался опыт устройства и оборудования высших учебных заведений Европы.

18 июня 1900 года - торжественная закладка здания будущего института.

17 ноября 1900 года - под крышу были выведены главное здание, химический павильон, первое и второе общежитие, заложен фундамент механического павильона.

4 февраля 1902 года на заседании Государственного Совета рассмотрен законопроект об учреждении СПбПИ.

2 апреля 1902 года - Положение и штат СПбПИ получили "высочайшее утверждение".

19 августа 1902 года - Министр финансов утвердил правила для студентов СПбПИ.

2 октября 1902 года - торжественное открытие Политехнического института.

3 октября 1902 года - в 9 часов утра начались занятия в институте, прочитаны первые лекции.

Князь А.Г. Гагарин предложил А.Н. Крылову возглавить Кораблестроительное отделение, но последний к тому времени был уже назначен руководителем первого опытового бассейна (1900 г.) и, отклонив предложение, рекомендовал на должность декана К.П. Боклевского.

Кораблестроительное отделение во главе с деканом, профессором

К.П. Боклевским было представлено кафедрой корабельной архитектуры (ею заведовал по 1928 год).

На это отделение принято было 27 человек, из которых в 1908 году защитили дипломы только 11 человек. Кораблестроительное отделение получило в свое распоряжение пять аудиторий общей площадью 300 м<sup>2</sup>.

Говоря о назначении кораблестроительного образования, А.Н. Крылов в 1899 году в связи с обоснованием открытия кораблестроительного отделения в рамках СПбПИ отмечал: "...В кораблестроении... необходимо различать два рода деятельности, которые одинаково нужны для успеха, но которые требуют совершенно различной подготовки: во-первых - деятельность инженера - конструктора - создателя проекта; во-вторых - деятельность техника - исполнителя проекта.

От морского инженера - конструктора, в истинном значении этого слова, требуется обширная научная подготовка главным образом физико-математическая, кроме знания своей специальности". А.Н. Крылов подчеркивал также при подготовке морского инженера важность практических занятий на заводах и во время плавательной практики, необходимость иметь плаз, лаборатории, опытовой бассейн, модельную и учебную мастерские, библиотеку и архив чертежей.

Позднее А.Н. Крылов и И.Г. Бубнов совместно разработали программу курса по теории корабля. В обеспечение подготовки морских инженеров А.Н. Крылов издал курс лекций "Вибрация судов", К.П. Боклевский - курсы "Энциклопедия судостроения" и проектирования судов, И.Г. Бубнов - курс строительной механики корабля.

К.П. Боклевский, А.Н. Крылов, И.Г. Бубнов, да и другие преподаватели в разное время состояли на службе в ВМФ. С 1909 года в СПбПИ на Кораблестроительном отделении был введен курс военного кораблестроения. К маю 1916 года этот курс окончили 109 человек. В предреволюционный период из числа выпускников кораблестроительного отделения 2/3 работали по военному ведомству и только 1/3 - по коммерческому. Говоря современным языком, тогда существовала специализация по военному кораблестроению, требовавшая от выпускников прохождения дополнительных курсов, например, по размещению оружия, броневой защите, проектированию и расчету орудийных башен, подкреплений.

Морской инженер получал практически равноценную подготовку по корпусу судна и по судовым машинам. Незначительная специализация имела место только на 10-ом семестре, когда соотношение часов по подготовке было в пользу первого или второго направления соответственно.

Особо следует выделить роль К.П. Боклевского в становлении высшего кораблестроительного образования в России. Как уже отмечалось выше, он в 1884 году закончил Техническое Училище морского ведомства

в г. Кронштадте, а в 1886-1888 годах прошел курс Кораблестроительного отделения в Морской академии. После этого он прошел блестящую практическую школу, поражает его востребованность. Участвовал в постройке броненосца "Император Александр II" и канонерской лодки "Грозный". С 1893 по 1887 в г. Николаеве руководил постройкой 6 мореходных миноносцев, занимался ремонтом ряда крупных кораблей, состоял корабельным инженером при Николаевском коммерческом порте, разработал проекты и построил несколько коммерческих пароходов в порте, разработал проекты и построил несколько коммерческих пароходов в г.Херсоне. С 1888 по 1901 - в зарубежной командировке во Франции для ознакомления с европейским опытом в кораблестроении и кораблестроительном образовании и наблюдения за постройкой крейсера "Боян" и броненосца "Цесаревич". После возвращения он - помощник Главного Корабельного инженера Петербургского порта. Его необыкновенная одаренность, работоспособность и профессионализм подчеркивались его современниками, и А.Н. Крыловым в том числе. Перейдя в запас по флоту, что требовалось при приеме на работу в СПбПИ, он с началом Первой мировой войны вновь был призван во флот и произведен в генерал-майоры, оставаясь деканом и зав. кафедрой, исполнял функции Главного инспектора заводов Морского Ведомства. В 1910 году Государственный совет России пригласил его работать в качестве эксперта в Совет по судостроению (также не освобождая его от основных обязанностей в СПбПИ).

К.П. Боклевский был председателем судостроительной секции научно-технического комитета НКПС, почетным председателем Союза Морских инженеров, в советское время по совместительству - заведующим кафедрой проектирования военных судов в Военно-Морской Академии РККФ, а также бессменным председателем Технического Совета Российского Регистра, который был учрежден в 1913 году по инициативе К.П. Боклевского, "чтобы освободить наше торговое судостроение от иностранной опеки" (слова А.Н. Крылова, который добавлял: "...Кораблестроительный факультет и Русский Регистр - навеки запечатлеют память о нем (о К.П. Боклевском) в летописях русского судостроения. С 1923 года по состоянию здоровья К.П. Боклевский попросил освободить его от обязанностей декана факультета. Деканом стал выпускник Кораблестроительного отделения 1908 года В.Л. Поздюнин, который занялся реорганизацией системы подготовки морских инженеров, ориентируя их в большей степени на производство (постройку судна), а не на его проектирование, как это было раньше. Эта тенденция к 1930 году (моменту выделения ЛКИ из ЛПИ), только возмужала. Усиление требовательности к качеству подготовки начало возрождаться с 1934 года.

В 1930 году на базе кораблестроительного факультета Ленинград-

ского политехнического института, был создан самостоятельный вуз - Ленинградский кораблестроительный институт, который в 1990 году одним из первых в России получил статус технического университета и имя Ленинградского государственного морского технического университета, а в 1992 году, в связи с возвращением городу имени Санкт-Петербург стал называться Санкт-Петербургский государственный морской технический университет.

В 1965 г по специальному постановлению Совета Министров для подготовки специалистов по постройке и ремонту атомных подводных лодок для предприятий Государственного Российского центра атомного судостроения (ГРЦАС), - ранее предприятий группы «Север», был создан Севмашвуз являющийся филиалом Ленинградского кораблестроительного института (ныне Санкт-Петербургский государственный морской технический университет, СПбГМТУ). В составе Севмашвуза 5 факультетов, подготовительные курсы, административно-управленческие, хозяйственные и учебно-научные подразделения. В составе факультетов учебный процесс и научную деятельность осуществляют 23 кафедры, в том числе 19 выпускающих.

### 3 СОВРЕМЕННЫЕ СУДА И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Для того чтобы ориентироваться в огромном разнообразии типов судов и условий их эксплуатации, суда группируют по определенным классификационным признакам. Четкая классификация значительно упрощает определение характеристик любого судна или группы судов, условий их эксплуатации, а также облегчает работы по стандартизации, унификации и т. п.

Главным классификационным признаком является назначение судна. Кроме того, суда подразделяются по району плавания, средствам и характеру движения по воде, типу главного двигателя, виду движителя, материалу корпуса, архитектурно-конструктивному типу и т. д.

По назначению все гражданские морские суда делятся на транспортные, промысловые, служебно-вспомогательные и технические.

Основу морского и речного флотов составляют *транспортные суда*, предназначенные для перевозки различных грузов и пассажиров. Они подразделяются на пассажирские, грузопассажирские и грузовые суда. Выделение грузопассажирских судов достаточно условно, так как к обычному грузовому судну, имеющему на борту более 12 пассажиров, предъявляются требования как к пассажирскому судну. Кроме того, грузопассажирскими называют пассажирские суда с грузовыми трюмами.

*Пассажирские суда* используются для транспортировки пассажиров между портами, обслуживая регулярные линии (лайнеры), или для отды-

ха, путешествий и морского туризма (круизные суда). Наиболее крупные трансокеанские пассажирские лайнеры имеют водоизмещение 50000-70 000 т, пассажироместность 1500-2000 чел., скорость хода до 30-35 уз. Круизные пассажирские суда имеют меньшие скорости (до 22 уз) и размеры и рассчитаны на 200-500 пассажиров. Они могут перевозить 50-200 легковых автомашин.

*Грузовые суда* разделяют на сухогрузные, наливные и комбинированные, предназначенные для перевозки нескольких разнородных грузов (нефти и руды - нефтерудовозы, хлопка и леса - хлопколесовозы и т. д.).

В зависимости от приспособленности к перевозке грузов *сухогрузные суда* подразделяют на универсальные суда общего назначения и специализированные - для перевозки определенных грузов.

*Универсальные сухогрузные суда общего назначения* (рис.1) предназначаются для перевозки разнородных грузов в ящиках, мешках, бочках, тюках, кипах и т. п. или отдельными местами (автомашины, металлоконструкции, отливки и прокат и т. п.), т. е. так называемых генеральных грузов. Грузоподъемность судов достигает 16 000— 20 000 т, скорость 20—22-уз (средние значения 4000—6000 т и 14— 16 уз).



Рисунок 1 - Сухогрузный теплоход типа «Волго-Дон» .

К *специализированным сухогрузным судам* относятся рефрижераторные суда, лесовозы, контейнеровозы, лихтеровозы, суда с горизонтальной грузообработкой, для навалочных грузов и др.

*Рефрижераторные суда* служат для перевозки овощей, фруктов, мясных, рыбных, молочных и других скоропортящихся продуктов. Необходимый температурно-влажностный режим обеспечивается надежной теплоизоляцией грузовых трюмов и поддерживается с помощью холодильной установки. Дедвейт от 6000 до 10 000 т, скорость 18-22 уз. Фруктовозы имеют дедвейт 3000- 5000 т, скорость - 17-19 уз.

*Лесовозы* суда для перевозки лесных грузов. В зависимости от грузоподъемности отечественные лесовозы делятся на малые (до 2000 т), средние (3000-3500 т), большие (5000-5500 т). Скорость 12-15 уз. *Лесовозы-щеповозы*, предназначенные для перевозки технологической щепы, имеют дедвейт 15000- 20 000 т.

*Контейнеровозы*, перевозят грузы в контейнерах, представляющих собой прочные деревянные или металлические ящики с одной или несколькими дверями. Дедвейт большинства судов этого типа от 1500 до 20 000 т, скорость 16-24 уз. Построенные суда развивают скорость 25-30 уз и выше. Грузоподъемность крупнейших контейнеровозов 25000-30000 т.

*Лихтеровозы* служат для перевозки несамоходных барж-лихтеров, используемых в качестве плавучих контейнеров. *Лихтер* имеет форму прямоугольного и прямостенного понтона, иногда с небольшим подъемом днища и заострением ватерлинии в оконечностях. Грузоподъемность лихтеров 370—850 т. Наибольшее распространение получили лихтеровозы типа ЛЭШ (LASH — Lighter Aboard Ship, т. е. лихтер на судне) и Си би (SEA BEE — морская пчела). На лихтеровозах типа ЛЭШ для погрузки и выгрузки лихтеров используют козловой катучий кран грузоподъемностью 500 т, который перемещается над грузовыми отсеками и может выходить на консоли в кормовой оконечности судна. На лихтеровозах типа Си би кран заменен кормовым подъемником (лифтом), платформа которого подает сразу два лихтера на уровень грузовой палубы, и механизмом горизонтального перемещения лихтеров.

*Суда с горизонтальной грузо-обработкой* (или накатные суда) наилучшим образом приспособлены для погрузочно-разгрузочных работ и могут не иметь грузовых люков, стрел и кранов на палубах (см. рис. 2). Они приспособлены для перевозки трейлеров, автоприцепов, контейнеров, поддонов с грузами, а также автомашин и другой колесной и гусеничной техники, которая загружается самоходом. Грузы доставляются на эти суда с помощью вилочных автопогрузчиков, автоконтейнеровозов и открытых грузовых передвижных платформ с колесами небольшого диаметра - роллтрейлеров. Суда с горизонтальной грузообработкой имеют две палубы и более, ограниченное число поперечных переборок, кормовые или носовые (реже) грузовые ворота, а иногда и бортовые грузовые лацпорты (вырезы) и люки. Поворотные (подвижные) съезды с палубы на палубу называют аппарелями, стационарные (неподвижные)-пандусами. Наружные поворотные аппарели для связи с судна с берегом называют также рампами. Грузоподъемность таких судов 1000- 20 000 т, скорость- 16 - 27 уз.



Рисунок 2 – Судно для генерального груза, с горизонтальной грузообработкой в кормовом трюме (Ro-Ro), дедвейт 10125 тон.

Суда для навалочных грузов предназначены для перевозки руд и их концентратов, каменного угля, бокситов, химических удобрений, строительных материалов, зерна, сахара, цемента и т. п. (см. рис 3) . Это однопалубные суда с кормовым расположением машинного отделения и надстройки. Грузоподъемность рассматриваемых судов в среднем составляет 25000-35000т, максимальная - 100000-150 000 т, скорость 14—16 уз.



Рисунок 3 – Навалочное судно “Гурмант”, дедвейт 23645 тон.

Наливные суда служат для перевозки сырой нефти и нефтепродуктов (танкеры), сжиженных газов (газовозы), а также прочих, жидких гру-

зов (водолеи, виновозы, битумовозы и т. д.), см. рис.4. Грузоподъемность танкеров колеблется от 500-1000 т : (танкеры-раздатчики) до 300000-500000 т (супертанкеры). Наибольшим спросом пользуются танкеры дедвейтом 20000-30 000 т, около 100 000 т и 200 000-250 000 т. Скорость составляет 14-15 уз. у судов дедвейтом до 20 000т, 16-18 уз - при дедвейте 40000- 130000 т и 15-16 уз - при большем дедвейте. Газовозы, перевозящие сжиженные природные и нефтяные газы, вначале имели вместимость цистерн до 5000 м<sup>3</sup>, в последние годы характерными стали суда с объемом цистерн в 75 000 и 125 000 м<sup>3</sup> (дедвейтом 40 000 и 60 000 т).

Небольшие и среднетоннажные газовозы имеют скорость 13-15 уз, крупнотоннажные - 16 - 20 уз.



Рисунок 4 – Танкер-химовоз типа “Москальво”, дедвейт 46263 тон.



Рисунок 5 - Морской железнодорожный паром «Балтийск».



Своеобразную группу грузовых судов составляют *паромы* (рис. 5): железнодорожные, железнодорожно-пассажирские, железнодорожно-автомобильные, автомобильно-пассажирские и пассажирские. Они служат для перевозки железнодорожных вагонов, автомобилей и пассажиров на паромных переправах, которые соединяют прерванные морями, проливами, заливами шоссейные дороги и линии железных дорог. Грузоподъемность современных паромов колеблется от 200 до 2000 т, скорость- 17-20уз.

*Промысловые суда*, используемые для добычи, переработки и транспортировки морепродуктов, делятся на добывающие, добывающе-перерабатывающие, перерабатывающие и обслуживающие. Ядро промыслового флота составляют добывающие и добывающе-перерабатывающие суда (траулеры, сейнеры, тунцеловные суда, большие морозильные траулеры-рыбозаводы и др.). Перерабатывающие суда принимают и перерабатывают улов, снабжают рыболовецкие суда всем необходимым, обеспечивают медицинское и культурно-бытовое обслуживание экипажей добывающих судов. К обслуживающим судам относятся приемо-транспортные, живорыбные, поисковые, научно-промысловые и др. суда.

*Служебно-вспомогательные суда* разделяют на обслуживающие и служебные. К обслуживающим относятся ледоколы, буксиры, спасатели, противопожарные и судоподъемные, плавучие маяки и пр. Ледоколы (рис.6) предназначены для искусственного продления навигации в замерзающих морях и реках. Такие атомные ледоколы как «Ленин», «Сибирь», «Россия» могут обеспечивать круглогодичную эксплуатацию Северного морского пути. Буксировка несамходных судов плавучих сооружений, проводка крупных судов в узкостях и портах выполняются буксирными судами. Буксиры-спасатели (рис. 7) имеют специальное оборудование для тушения пожаров, откачки воды, стаскивания с мели, подводного осмотра и ремонта судов, их буксировки спасения людей и оказания им медицинской помощи. К служебным судам относятся научно-исследовательские, медико-санитарные суда-выставки, учебные суда и др.

*Суда технического флота* имеют оборудование, которое позволяет им выполнять техническое обслуживание различных судов, портового хозяйства и водных путей. К ним относятся дноуглубительные суда, грунтоотвозные шаланды, плавучие краны, плавучие доки, плавучие мастерские, кабельные суда и др. К этой же группе судов относятся технические средства освоения континентального шельфа и Мирового океана (рис. 8): плавучие буровые установки, буровые суда, трубоукладчики, цементовозы скважин, суда снабжения суда для подводно-технических и водолазных работ, крановые суда, суда для добычи твердых полезных ископаемых, плавучие электростанции и т.п.



Рисунок 6- А томный ледокол «50 лет победы» мощностью 55,2 МВт.



Рисунок 7 - Ледокольный буксир-спасатель типа Polar Pevek.

*Дноуглубительные суда* предназначены для поддержания определенных глубин речных и морских фарватеров и акваторий портов; используются также при строительстве гидротехнических сооружений. В зависимости от способа отделения и подъема грунта различают земснаряды и

землесосы. *Земснаряды* имеют в носовой или кормовой части корпуса продольную прорезь через которую в воду опускается рама с черпаками на бесконечной пластинчатой цепи. Поднятый черпаками грунт сливается в грунтовый колодец и через направляющий лоток подается на *грунтоотвозную шаланду*. *Землесосы* без разрыхлителей или с гидравлическими разрыхлителями через сосун засасывают грунт в трубопровод, соединенный с центробежным насосом. По плавучему трубопроводу - рефулеру смесь грунта с водой (пульпа) подается насосом к месту свалки на 200-300, иногда на 500—600 м, от судна. Одной из разновидностей землесосов является *эрлифт* - дноуглубительное судно, на котором всасывание грунта происходит в результате подачи во всасывающую трубу сжатого воздуха, увлекающего пульпу. Производительность многочерпаковых земснарядов достигает 1200 м<sup>3</sup>/ч, землесосов - 5000 м<sup>3</sup>/ч, эрлифтов - 7000 м<sup>3</sup>/ч. Глубина всасывания (черпания) – 12-23 м.

*Плавучие краны* (самоходные или несамоходные) обеспечивают грузовые операции в портах, на судостроительных и судоремонтных заводах, при строительстве различных сооружений в море. Грузоподъемность плавучих кранов типа «Богатырь»- 300 т, «Витязь»- 1600 т. В Каспийском море для установки буровых вышек используется крановое судно «Азербайджан», оборудованное краном грузоподъемностью 2500 т.

*Ремонтные плавучие доки* служат для подъема судов из воды и ремонта подводной части корпуса и винто-рулевого комплекса. Для спуска судов на воду с горизонтального стапеля используются *передаточные плавучие доки*, а для транспортировки судов и других плавучих сооружений при ограничениях по осадке или мореходным условиям - *транспортные плавучие доки*. Доки бывают стальными или железобетонными. Грузоподъемность плавучих доков достигает 100 тыс. т, что позволяет доковать в них даже супертанкеры.

По району плавания различают суда морские, рейдовые, внутренне-го и смешанного (река - море) плавания. Морские подразделяются на суда неограниченного района плавания и суда ограниченных районов плавания. Суда внутреннего плавания делятся на речные и озерные. Выделяют также суда, корпус которых имеет усиление для плавания в ледовых условиях,- так называемые суда ледового плавания (см п. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

По средствам и характеру движения по воде суда подразделяют на самоходные с собственным механическим двигателем, несамоходные, перемещающиеся с помощью буксиров, толкачей или парусов, а также водоизмещающие, глиссирующие, суда на подводных крыльях и воздушной подушке, экранопланы. Водоизмещающие суда, которые при плавании вытесняют корпусом определенный объем воды, могут быть надводными,

полупогруженными и подводными.

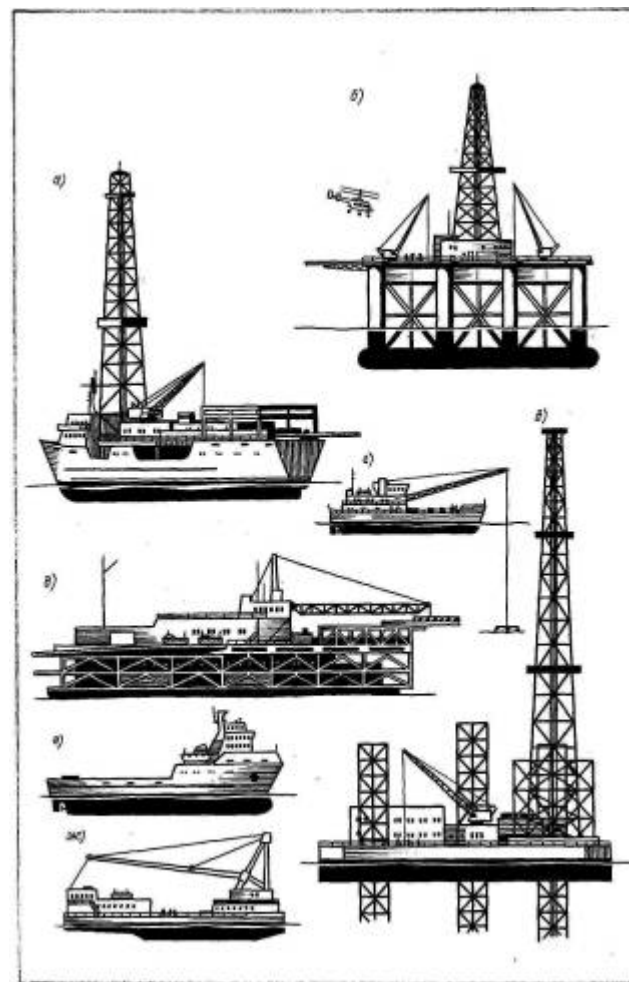


Рисунок 8 - Технические средства освоения океана: а -буровое судно; б - полу-погружная буровая установка; в - самоподъемная буровая установка; г - судно для добычи полезных ископаемых; д - судно-трубоукладчик; е - судно снабжения; ж - плавучий кран.

На высоких скоростях силы динамического поддержания поднимают корпус над поверхностью воды и обеспечивают снижение сопротивления движению. У глиссирующих судов силы динамического поддержания возникают в результате встречи потока воды с плоскими наклонными участками днища — *реданами*. У судов на подводных крыльях подъемная

сила возникает так же, как и на крыле самолета. Подъемная сила на редане или подводном крыле тем больше, чем больше угол встречи их с потоком воды. Этот угол называется *углом атаки*. Воздушная подушка создается в результате подачи воздуха вентиляторами под днище судна. Объем воздушной подушки ограничивается по периметру гибким ограждением из резиноканевых материалов или же гибкие ограждения делаются в носу и корме судна, а вдоль бортов ограждением служат узкие корпуса, называемые скегами. *Экраноплан* - это практически самолет, летящий вблизи поверхности воды или земли. Подъемная сила возникает как вследствие скоростного обтекания воздухом профиля крыла, так и в результате образования аэродинамической подушки под судном, когда оно летит с большой скоростью над водой.

По типу главного двигателя различают пароходы (с паровой поршневой машиной), теплоходы (с двигателем внутреннего сгорания), паротурбоходы (с паровой турбиной), газотурбоходы (с газовой турбиной), электроходы (с гребным электродвигателем), атомоходы (с ядерным реактором) и гребные судна (мускульная сила человека).

По виду движителя суда делят на винтовые (наиболее распространены), колесные, весельные, парусные, с крыльчатками, водометными, роторными и другими движителями, с воздушными винтами.

По роду материала корпуса суда делятся на металлические (стальные и из легких сплавов), неметаллические (деревянные, пластмассовые, из резиноканевых материалов), железобетонные и композитные (когда корпус изготовлен частично из металла и дерева или другого материала).

По архитектурно-конструктивному типу различают суда в зависимости от числа корпусов (одно-, двух-, трехкорпусные и т. п.), от количества и расположения надстроек, числа палуб, положения палубы надводного борта, расположения машинного отделения и др.

#### 4 ФОРМА КОРПУСА И ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВ

Обводы корпуса представляют собой совокупность криволинейных поверхностей обтекаемой формы, обеспечивающих наименьшее сопротивление воды и воздуха движению судна. Обычно носовая часть корпуса значительно острее кормовой, а подводная часть острее надводной.

Для выполнения различных судостроительных расчетов необходимо определить *базисные плоскости* и основные расчетные размеры, называемые главными размерениями.

Горизонтальная плоскость, касательная к днищу судна, называется *основной* (ОП). Продольная вертикальная плоскость симметрии судна носит название *диаметральной* (ДП), а горизонтальная плоскость, совпадающая с поверхностью воды, называется *плоскостью ватерлинии*. Вер-

тикальная поперечная плоскость, проходящая посередине расчетной длины судна, называется *плоскостью мидель-шпангоута* (рис. 9).

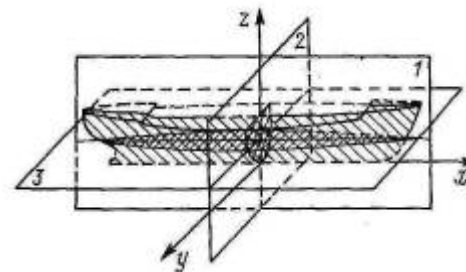


Рисунок 9 - Сечение корпуса судна тремя базисными плоскостями; 1 - диаметральной плоскостью; 2 - плоскостью мидель-шпангоута; 3 - плоскостью ватерлинии. Оси  $x$  и  $y$  лежат в основной плоскости судна, параллельной плоскости ватерлинии и проходящей через килевую линию судна

Сечение корпуса диаметральной плоскостью дает представление о форме палубной и килевой линий и об очертаниях носовой и кормовой оконечностей (рис. 10).

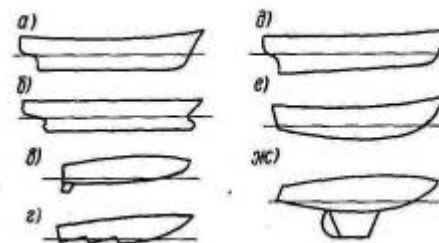


Рисунок 10 - Формы палубной и килевой линий: а - обычное морское судно; б - быстроходное контейнерное судно; в - туристский катер; г - спортивный глассер; д - промышленное судно с конструктивным дифферентом на корму; е - шлюпка; ж - килевая парусная яхта.

У большинства морских судов *палубная линия* имеет вид плавной кривой с подъемом от середины к носу и к корме и образует *седловатость* палубы. Седловатость уменьшает заливаемость палубы при плавании на волнении и обеспечивает непотопляемость при затоплении оконечностей судна. Речные и высокобортные морские суда обычно строятся с горизонтальной палубной линией без седловатости. Подъем палубы в корме определяется условиями незаливаемости и непотопляемости (рис.10).

*Килевая линия* может быть горизонтальной (у большинства судов), наклонной в нос или в корму (конструктивный дифферент на, нос или на

корму) и криволинейной. Горизонтальная килевая линия удобна при постановке судна в док, обеспечивает наиболее рациональное использование ограниченной глубины портов, рек и каналов. Конструктивный дифферент на корму придает промысловым судам для облегчения буксировки трала, а также судам других типов, когда необходимо улучшить поворотливость и защитить гребные винты при посадке на мель. Для улучшения подтекания воды к винтам у быстроходных катеров применяется иногда конструктивный дифферент на нос. Спортивные катера с развитым режимом глиссирования могут иметь килевую линию с несколькими уступами - *реданами*. Криволинейная килевая линия применяется только у судов специальных типов, например у килевых парусных яхт, катеров, подводных аппаратов и обуславливается конструктивными и эксплуатационными особенностями этих судов (см. рис.10).

Наиболее простую форму носовой оконечности - *прямой форштевень* - имеют тихоходные суда. Большинство среднескоростных судов имеют *наклонный форштевень* с закруглением или подрезом в подводной части. Наклон форштевня вперед в сочетании с развалом носовых шпангоутов уменьшает заливаемость на штормов м волнении, а при столкновении судов уменьшаются размеры пробоины и она оказывается в надводной части. Еще больший наклон в подводной и частично в надводной части имеет форштевень судов с *ледокольным носом*. Это позволяет ледоколу наползать носовой частью на лед, раскалывать и продавливать его тяжестью судна. Чтобы ледокол не выползал на лед слишком далеко, в нижней части форштевня имеется уступ. Парусные суда с так называемым *клиперским носом* отличаются вынесенной вперед надводной носовой оконечностью с целью уменьшения длины бушприта, к которому крепится такелаж передних парусов, кливеров и стакселей. На быстроходных пассажирских лайнерах и боевых кораблях подобный нос применяется по эстетическим соображениям и для уменьшения заливаемости палубы. Некоторые суда имеют форштевень с каплевидным утолщением в подводной части - *бульбом*. Такая форма носа способствует снижению сопротивления от волнообразования (рис.11).

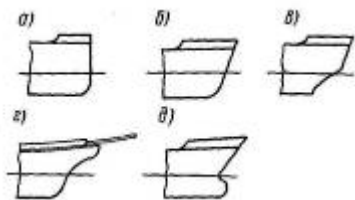


Рисунок 11 - Формы носовой оконечности судов: а — нос с вертикальным форштевнем; б — наклонный форштевень; в — ледокольный нос; г — клиперский

нос парусного судна; д — бульбообразный нос.

Многие суда имеют в надводной части кормы выпуклые обводы, так называемую *крейсерскую корму* с утопленным в воду подзором. В подводной части перед ахтерштевнем обычно имеется плавник, который обеспечивает лучшее подтекание воды к гребному винту.

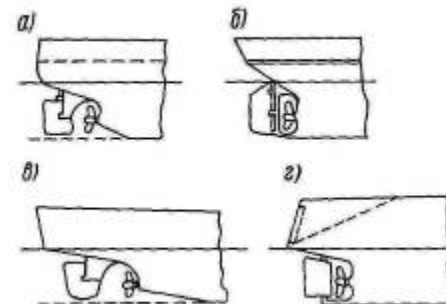


Рисунок 12 - Формы кормовой оконечности: а-крейсерская корма; б — обыкновенная корма; в - транцевая корма; г - корма промыслового судна.

Устаревшей является *обыкновенная корма* с подзором - свесом верхней части кормы над водой, конструктивно продолжающим ахтерштевень. У паромов и судов с горизонтальной грузообработкой подзор срезается вертикальной или слегка наклонной поперечной плоскостью - *транцем*, у туристских катеров нижняя часть транца обычно погружена в воду. Корма промысловых судов часто имеет прямоугольный вырез, к которому идет наклонный участок палубы - *слип* для работы с тралом и другими орудиями лова (рис. 12).

Сечение корпуса плоскостью мидель-шпангоута дает представление о форме поперечного сечения судна, наклоне бортов, килеватости днища, размере и форме скулы, погиби палубы. Большинство судов имеют вертикальные борта, если же борт наклонен наружу от ДП или внутрь к ДП, то говорят о *развале* или *завале бортов*. Развал способствует повышению мореходности, особенно часто он применяется в носовой части судна. Днище тихоходных судов горизонтально, более быстроходные суда имеют подъем днища к бортам, называемый *килеватостью*. Угол килеватости в оконечностях больше, чем в районе мидель-шпангоута. Обычно открытые палубы судов имеют уклон от ДП к бортам, называемый *погибью*. Попадающая на палубы вода благодаря погиби стекает к бортам и оттуда отводится . за борт (рис. 13).

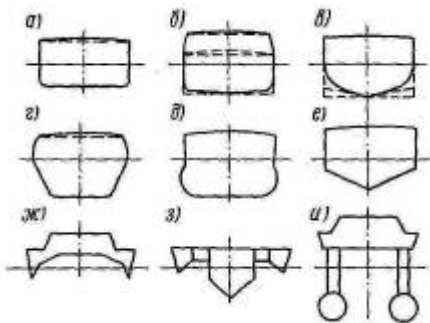


Рисунок 13 - Формы миделевого сечения: а - плоскодонное судно с вертикальными бортами; б - судно с относительно малым подъемом днища и завалом бортов; в - круглоскулые обводы; г - ледакольные обводы; д - булевые обводы; е - остроскулые обводы; ж - поперечное сечение скегового СВП; з - поперечное сечение тримарана; и - поперечное сечение полупогруженного судна.

Характер обводов судна в наибольшей степени отражается в форме мидель-шпангоута. Большинство транспортных судов имеет *прямо-бортный корпус с горизонтальным днищем*, скула — закругление в месте перехода борта в днище — имеет малый радиус. Некоторые суда имеют относительно малый подъем днища для стока трюмной воды к ДП и удобного ее удаления; при посадке на мель такое судно касается грунта прежде всего своей средней частью и протяженность повреждения сокращается. Быстроходные суда имеют сравнительно большие подъем днища и радиус закругления скулы, т. е. *круглоскулые обводы*. Они улучшают остойчивость судна, обеспечивают благоприятные условия обтекания и малую полноту подводной части корпуса, необходимые для получения хороших ходовых качеств судна. Развал бортов в подводной части ледакольных судов способствует ломке льда и уменьшает сжатие судна льдами. Этому же добиваются завалом бортов в надводной части, так как льдины при сжатии скользят вверх по борту судна. *Булевые обводы* используются на пассажирских судах для повышения остойчивости и улучшения ходовых качеств. *Остроскулые обводы* малых быстроходных катеров удобны в технологическом отношении, но снижают мореходные качества. На рис. 13 приведены и другие формы поперечных сечений корпуса.

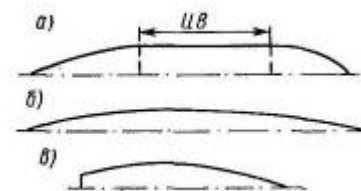


Рисунок 14 - Формы ватерлиний: а - судна с цилиндрической вставкой (ЦВ); б — быстроходного судна; в — быстроходного катера.

Сечение корпуса плоскостью ватерлинии дает представление об особенностях формы судна в горизонтальной плоскости (рис.14). Тихоходные гражданские суда имеют так называемую *цилиндрическую вставку*, на протяжении которой форма поперечных сечений остается неизменной, и, следовательно, линия борта в горизонтальном сечении остается параллельной ДП. Благодаря цилиндрической вставке упрощается и удешевляется постройка корпуса судна и облегчаются условия общего расположения. У среднескоростных судов цилиндрическая вставка отсутствует и ватерлиния в носовой части может значительно заостряться, превращаться в прямую, а при больших скоростях и в двояковыпуклую кривую. Наличие транцевой кормы быстроходных глиссирующих катеров приводит к своеобразной катерной форме ватерлинии.

Различают конструктивную, грузовую и расчетную ватерлинии. *Конструктивной ватерлинией* (КВЛ) называют линию, соответствующую расчетному полному водоизмещению, *грузовой ватерлинией* (ГВЛ) - кривую пересечения поверхности судна горизонтальной плоскостью, совпадающей с поверхностью воды при плавании судна с полным грузом. *Расчетная ватерлиния* - ватерлиния, соответствующая осадке судна, для которой определяют его характеристики.

Параллельно основным плоскостям определяют длину (L), ширину (B), осадку (T) и высоту борта (H), составляющие главные размерения судна (рис. 15). Различают следующие виды этих размерений (рис. 15):

- длина между перпендикулярами ( $L_{пп}$ ) – расстояние между крайней подводной носовой точкой корпуса (носовой перпендикуляр) и осью вращения пера руля (кормовой перпендикуляр);
- длина по конструктивной ватерлинии ( $L_{квл}$ ) - расстояние между крайними носовой и кормовой подводными точками корпуса. Плоскость параллельная ОП и проходящая через эти точки называется плоскостью КВЛ;
- длина наибольшая ( $L_{max}$ ) - расстояние между крайними носовой и кормовой точками корпуса;

- ширина наибольшая ( $B_{max}$ ) - расстояние между крайними точками левого и правого бортов;
- ширина на мидель-шпангоуте ( $B$ ) – расстояние по КВЛ между внутренними кромками наружной обшивки;
- осадка ( $T$ ) – расстояние на мидель-шпангоуте от ОП до КВЛ;
- осадка носом/кормой ( $T_n/T_k$ ) – расстояние на носовом/кормовом перпендикуляре от нижней точки днища до КВЛ;
- высота борта ( $H$ ) – расстояние на мидель-шпангоуте от ОП до палубы у борта;
- высота борта в носу/в корме ( $H_n/H_k$ ) – расстояние, измеряемое параллельно плоскости миделя, от нижней точки днища до крайней носовой/кормовой точки корпуса.

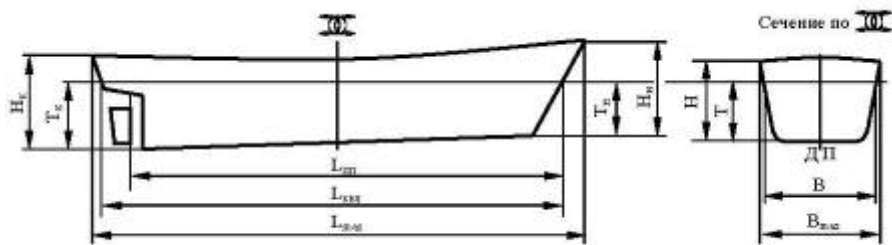


Рисунок 15 - Главные размеры судна.

Разность между высотой борта  $H$  и осадкой  $T$  определяет *высоту надводного борта судна  $F$* . Минимальная высота надводного борта регламентируется Международными правилами о грузовой марке или по условиям обеспечения непотопляемости. Ее значение наносят на борту судна в виде грузовой марки (см. п. 5.1).

Соотношения главных размерений дают представление о форме корпуса судна и о его потенциальных возможностях в отношении обеспечения некоторых важных эксплуатационных качеств. Например, увеличение отношения  $L/B$  способствует улучшению ходовых качеств судна. Однако это справедливо лишь для водоизмещающих судов, для СПК и СВП выгоднее малые величины  $L/B$ . Отношение  $L/H$  определяет условия общей продольной прочности судна. У судов с малыми значениями  $L/H$  легче обеспечить продольную прочность и добиться минимальной массы корпусных конструкций. Поэтому правила постройки судов могут ограничивать верхние допустимые значения  $L/H$ . Большие значения отношения  $B/T$  повышают остойчивость судна, но затрудняют достижение плавной качки. Соотношение  $H/T$  влияет на непотопляемость и грузовместимость судна, обеспечение которых облегчается при увеличении этого отношения. От-

ношение  $L/T$  характеризует поворотливость судна, которая улучшается с уменьшением этого отношения.

Дополнительную информацию о форме подводной части судна можно получить с помощью *безразмерных коэффициентов полноты*, определяемых как отношение некоторых характерных для судна площадей и объемов к площадям и объемам соответствующих простейших геометрических фигур и тел (рис.16):

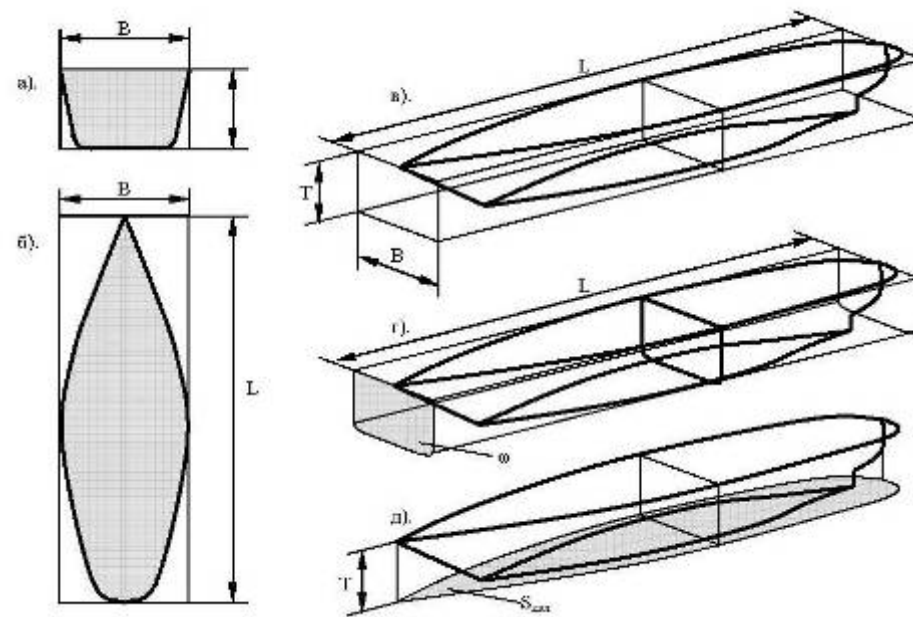


Рисунок 16 - К определению коэффициентов полноты: а — полноты площади мидель-шпангоута; б — полноты площади КВЛ; в — общей полноты; г- продольной полноты; д - вертикальной полноты.

Коэффициент полноты площади мидель-шпангоута ( $\beta$ ) - отношение площади миделя  $\omega$  к площади описанного вокруг него прямоугольника:

$$\beta = \omega / BT.$$

Коэффициент полноты площади КВЛ ( $\alpha$ ) – отношение площади ватерлинии  $S_{квл}$  к площади описанного вокруг нее прямоугольника:

$$\alpha = S_{квл} / L_{квл} B.$$

Коэффициент общей полноты ( $\delta$ ) - отношение объема подводной части судна  $V$  к объему описанного вокруг нее параллелепипеда

$$\delta = \frac{V}{L_{квл} BT}$$

Коэффициент продольной полноты ( $\varphi$ ) - отношение объема подводной части судна  $V$  к объему тела с длиной  $L_{квл}$  и площадью основания  $\omega$ :

$$\varphi = \frac{V}{L_{квл} \omega} = \frac{\delta L_{квл} BT}{L_{квл} \beta BT} = \frac{\delta}{\beta}$$

Коэффициент вертикальной полноты ( $\chi$ ) - отношение объема подводной части судна  $V$  к объему тела с площадью основания  $S_{квл}$  и высотой  $T$ :

$$\chi = \frac{V}{S_{квл} T} = \frac{\delta L_{квл} BT}{\alpha L_{квл} BT} = \frac{\delta}{\alpha}$$

Все соотношения главных размерений и коэффициентов полноты взаимосвязаны и возможности их независимого изменения ограничены. Так, при росте  $L/B$  одновременно повышается  $L/H$ , что не очень желательно. Рост  $H/T$  затрудняет обеспечение начальной остойчивости. С увеличением  $b$  ухудшается начальная остойчивость, а с увеличением  $a$  она, наоборот, повышается. Обычно, чем быстрееходнее судно, тем меньшие численные значения имеют  $\delta$ ,  $\varphi$  и  $\alpha$ , характеризующие более заостренную и удобообтекаемую форму.

Определение сбалансированных, наивыгоднейших (оптимальных) соотношений главных размерений, коэффициентов полноты и некоторых других характеристик судна является одной из ответственных задач при проектировании судов. Нужно иметь в виду, что каждому типу судна свойственны определенные соотношения главных размерений и коэффициенты полноты.

Наиболее полное представление о форме корпуса судна дает *теоретический чертеж*, изображающий теоретическую поверхность корпуса: без учета наружной обшивки (для металлических судов) и с учетом наружной обшивки (для деревянных и железобетонных судов) (рис.18). Корпус судна изображается на теоретическом чертеже в проекциях на уже упоминавшиеся три базисные плоскости: диаметральную («Бок»), конструктивной ватерлинии («Полуширота») и мидель-шпангоута («Корпус»). При этом линии пересечения поверхности корпуса с параллельными ДП плоскостями называют батоксами, параллельными КВЛ - ватерлиниями, а параллельными плоскости мидель-шпангоута - теоретическими шпангоутами (обычно 20 шпангоутов). При сечении поверхности судна плоскостями, наклонными к ДП и перпендикулярными к плоскости мидель-шпангоута, получают *рыбины*, которые вычерчивают на «Полушироте» или на «Боку» в их истинном виде. На проекции «Бок» изображают след ДП и 2-3 батокса, а на проекции «Полуширота» - 5-7 ватерлиний ниже и выше КВЛ, линии верхней палубы и бака. На проекции «Корпус» из-за

симметрии корпуса судна справа от ДП изображают ветви носовых шпангоутов, а слева - кормовых. По этой же причине на «Полушироте» обычно вычерчивают ватерлинии только левого борта. На каждой проекции наносится еще и сетка. На проекции корпус эта сетка образована следами плоскостей ватерлиний и батоксов, на боке – ватерлиний и шпангоутов и на полушироте – батоксов и шпангоутов.

Все проекции теоретического чертежа должны быть согласованы, то есть положение точек на одной из проекций должно соответствовать положению точек на других (рис. 17)

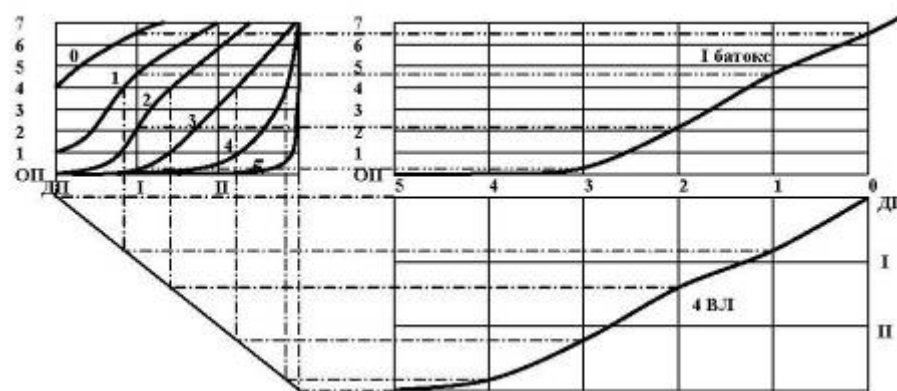


Рисунок 17 - Согласованность проекций теоретического чертежа.

Обычно теоретические чертежи крупных судов выполняют в масштабе 1:100 (при  $L > 150$  м - 1:200), малых судов - 1:50 или 1:25.

Все сечения корпуса представляют собой площади, ограниченные кривыми, или объемы, ограниченные криволинейными поверхностями. Для вычисления этих площадей и объемов применяют метод трапеций.

При вычислении площадей, длина основания  $l$  разделяется на  $n$  равных частей, и из точек деления восстанавливаются перпендикуляры  $y_0, y_1, \dots, y_{n-1}, y_n$  (рис.19). Длина единичного участка  $\Delta l = l/n$ . Площадь фигуры оказалась разбитой на участки, ограниченные с трех сторон отрезками ( $\Delta l, y_{i-1}, y_i$ ), а с четвертой – участком кривой, которую на данном участке с небольшой погрешностью можно заменить прямой. Тогда площадь отдельного  $i$ -того участка

$$s_i = \frac{y_{i-1} + y_i}{2} \Delta l,$$

$$\text{а } i+1\text{-го участка } s_{i+1} = \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \Delta l.$$

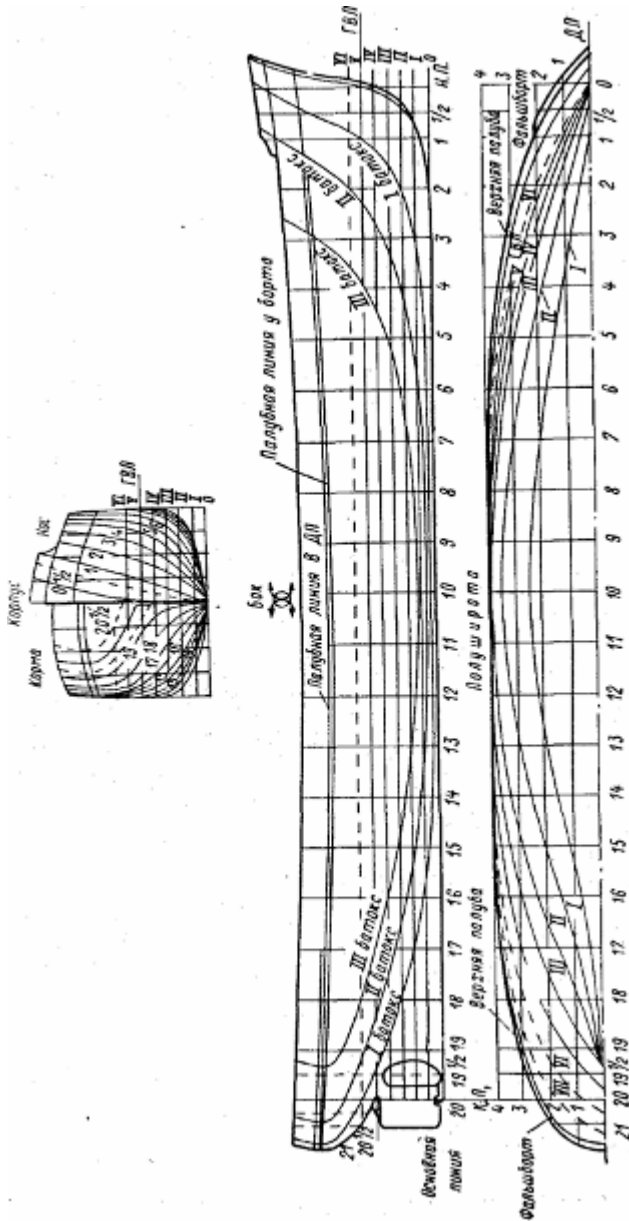


Рисунок 18 - Теоретический чертеж судна.

Общая площадь фигуры

$$S = \sum_{i=1}^n s_i = s_1 + s_2 + \dots + s_n$$

Подставим в эту формулу выражения для площадей отдельных участков

$$S = \left( \frac{y_0 + y_1}{2} + \frac{y_1 + y_2}{2} + \dots + \frac{y_{n-1} + y_n}{2} \right) \Delta l = \left( \frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right) \Delta l$$

$$= \Delta l \left( y_0 + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + y_n - \frac{y_0 + y_n}{2} \right)$$

Окончательно:

$$S = \left( \sum_{i=0}^n y_i - \varepsilon \right) \Delta l$$

где  $\varepsilon = (y_0 + y_n)/2$  – поправка.

Выражение для вычисления объемов фигур по методу трапеций будет иметь вид

$$V = \left( \sum_{i=0}^n s_i - \varepsilon' \right) \Delta l$$

где:  $s_i$  – площади сечений,  $\varepsilon' = (s_0 + s_n)/2$  – поправка.

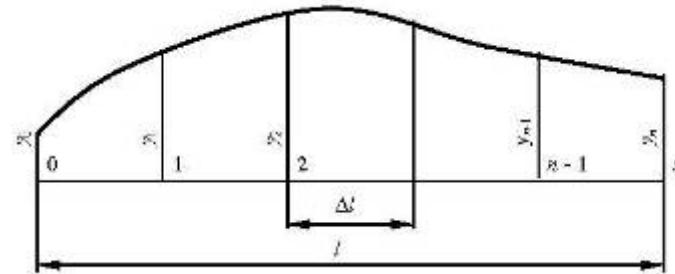


Рисунок 19 - Метод трапеций

## 5 МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДНА.

### 5.1 Плаваемость. Водоизмещение и марки углубления.

Создать хорошее судно, способное удовлетворять всем предъявляемым к нему требованиям, можно только в том случае, если решена основная задача — обеспечены необходимые мореходные качества, под кото-



рыми А. Н. Крылов подразумевает плавучесть, остойчивость, ходкость, плавность и малость размахов качки, поворотливость. Изучением мореходных качеств занимается наука, именуемая теорией корабля и включающая разделы статику и динамику. Статика рассматривает плавучесть и остойчивость целого и поврежденного судна. В динамике изучается ходкость, качка и управляемость движущегося судна.

Плавучестью называется способность судна плавать и при этом нести на себе все грузы при определенном положении относительно поверхности воды.

При плавании судна на спокойной воде на него действуют силы веса самого судна и находящихся на нем грузов. Равнодействующая этих сил  $D$  (рис.20) приложена в точке  $G$ , называемой центром тяжести (ЦТ) и направлена вертикально вниз. Силы веса уравниваются силами давления воды на корпус судна или силами поддержания. Равнодействующая сил поддержания  $\gamma V$  приложена в точке  $C$ , называемой центром величины (ЦВ), и направлена вертикально вверх. Судно, плавающее на поверхности воды, находится в равновесии, если силы веса и силы поддержания уравновешены, т. е. если будут выполнены следующие условия:

$$D = \gamma V; \quad x_g = x_c; \quad y_g = y_c.$$

При расчетах принимают:  
 для пресной воды -  $\gamma = 1,00$  т/м<sup>3</sup>,  
 для морской воды -  $\gamma = 1,025$  т/м<sup>3</sup>.

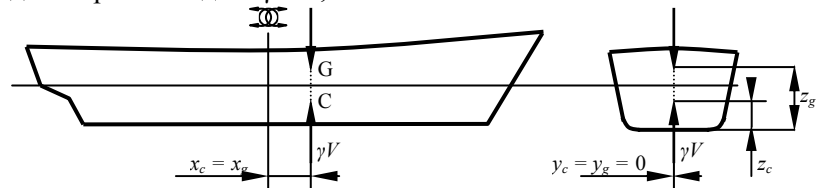


Рисунок 20-Силы, действующие на судно

Водоизмещение судна бывает объемное и массовое. Объемным водоизмещением  $V$  (м<sup>3</sup>) называется объем подводной части судна. Массовым водоизмещением  $D$  (т) называется вес судна.

Для определения координат центра тяжести судна используют теорему статических моментов, которая выглядит так:

$$x_g = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + \dots + p_n x_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum p_i x_i}{\sum p_i}$$

- где  $p_1, p_2 \dots p_n$  - массы грузов находящихся на судне;  $x_1, x_2 \dots x_n$  - координаты центров тяжести каждого из этих грузов.

При перемещении грузов вдоль осей  $X$  и  $Y$  общий центр тяжести переместится согласно последнему уравнению. Силы тяжести и силы плавучести уже не будут находиться на одной вертикали, поэтому ЦВ должен переместиться таким образом, чтобы находился строго под ЦТ. Но для этого должна измениться форма подводной части судна. Это реализуется изменением посадки судна, которая характеризуется средней осадкой ( $T_{ср}$ ), углом крена ( $\Theta$ ), углом дифферента ( $\psi$ ) или осадками носом и кормой (рис. 21).

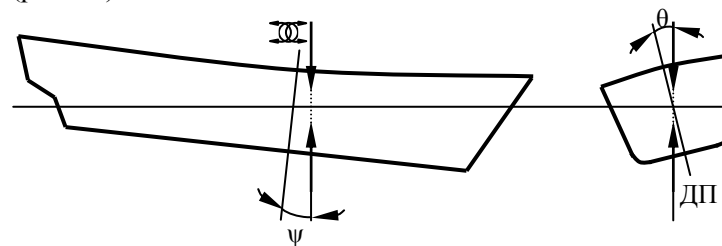


Рисунок 21-Изменение посадки судна

### **Изменение средней осадки при изменении нагрузки**

Для вывода этой зависимости условимся считать, что масса груза, принимаемого на судно или снимаемого с него не превышает 10 % водоизмещения.

При приеме груза массовое водоизмещение судна увеличится, что приведет к увеличению объемного водоизмещения, а следовательно, и осадки. Пусть на судно принят малый груз весом  $p$ . Массовое водоизмещение получит приращение  $\Delta D = p$ , а объемное -  $\Delta V$ . Зная, что  $D = \gamma V$ , можно написать

$$\Delta D = p = \gamma \Delta V.$$

Если груз принимают так, что судно не получает ни крена, ни дифферента, то приращение объемного водоизмещения можно определить как дополнительный объем корпуса, вошедший в воду,  $\Delta V = S \Delta T$ , где  $S$  - площадь ватерлинии, м<sup>2</sup>;  $\Delta T$  - приращение средней осадки, м.

Подставив полученное выражение в формулу, получим,  $p = \gamma S \Delta T$ , откуда приращение средней осадки

$$\Delta T = \frac{P}{\gamma S}$$

Величина  $\Delta T$  может быть положительной или отрицательной в зависимости от знака при  $p$ . При приеме груза его масса берется со знаком плюс, а при снятии - со знаком минус.

Если в формуле принять приращение осадки  $\Delta T$  равным 1 см, то получим значение груза, изменяющее осадку на 1 см. Обозначив эту величину буквой  $p_{1\text{см}}$ , получим

$$p_{1\text{см}} = \frac{\gamma S}{100}$$

Тогда приращение средней осадки (в сантиметрах) можно определить как:

$$\Delta T = p / p_{1\text{см}}$$

Можно построить кривую числа тонн на 1 см осадки (рис.22), по которой легко определить величину  $p_{1\text{см}}$ , соответствующую осадке судна к моменту погрузки или выгрузки. Следует помнить, что эти формулы справедливы только для малых грузов. Для более тяжелых грузов пользуются грузовым размером (рис. 23) - кривой, выражающей зависимость между водоизмещением и средней осадкой.

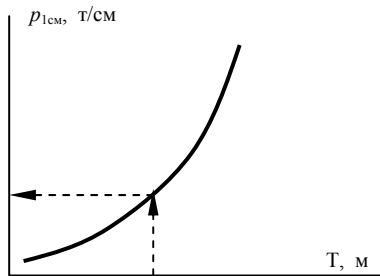


Рисунок 22 Кривая числа тонн на 1 см осадки.

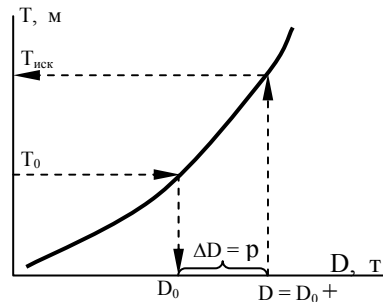


Рисунок 23- Грузовой размер

### Изменение средней осадки при изменении плотности воды

Морская вода имеет более высокую плотность, чем пресная, поэтому судно при одной и той же массе будет иметь в море меньшее объемное

водоизмещение, чем в реке. Следовательно, осадка в море будет также меньше.

Обозначим удельный вес воды до перехода судна  $\gamma_1$ , удельный вес воды после перехода  $\gamma_2$ , объемное водоизмещение до перехода  $V_1$ , объемное водоизмещение после перехода  $V_2$ .

Если судно переходит из соленой воды в пресную, то приращение объемного водоизмещения,

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{D}{\gamma_2} - \frac{D}{\gamma_1} = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 \gamma_2} D.$$

Приращение объемного водоизмещения  $\Delta V = S \Delta T$ . Приравняв правые части выражений, получим,

$$\Delta T = \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_1 \gamma_2} \frac{D}{S}.$$

Знак  $\Delta T$  зависит от направления перехода судна. Если судно переходит из воды с меньшей плотностью в более плотную ( $\gamma_1 < \gamma_2$ ) то величина  $\Delta T$  отрицательная, новая осадка будет меньше первоначальной, и наоборот.

В процессе эксплуатации судна расходуются запасы топлива и смазки, воды и провизии, принимаются и выгружаются грузы. Это приводит к изменению силы тяжести. Различают *водоизмещение судна с полным грузом* при наибольшей допустимой осадке и *водоизмещение в порожнем состоянии*, соответствующее готовому для выхода в море судну со всем снабжением, водой в главных механизмах, котлах, конденсаторах и их трубопроводах, но без груза, экипажа, багажа, топлива и всех расходных запасов. Между этими крайними значениями в течение рейса происходит непрерывное изменение водоизмещения. Разность между водоизмещением с полным грузом и порожнего судна называют *дедвейтом* или *полной грузоподъемностью*.

В отличие от дедвейта *чистую грузоподъемность* определяют как суммарную силу тяжести от всех перевозимых грузов, пассажиров с багажом, запасов воды и продовольствия для них.

Наряду с грузоподъемностью используют и другую важную характеристику - *грузовместимость*, представляющую собой объем судовых

помещений. Различают валовую и чистую вместимость. *Валовая регистровая вместимость* включает в себя объем корпуса, всех надстроек и рубок, а *чистая регистровая вместимость* - объем помещений, обеспечивающих коммерческую выгоду от эксплуатации судна. Чистую вместимость получают путем вычета из валового объема помещений, не предназначенных для перевозки грузов и пассажиров (помещений для экипажа, главных и вспомогательных механизмов, рулевой и штурманской рубки и др.). По регистровой вместимости, устанавливают величину различных сборов и пошлин в морских портах.

Плаву́честь является важнейшим мореходным качеством, связанным с безопасностью плавания судна. Рассмотрим этот вопрос более подробно. Пусть судно, погружено по ватерлинию ВЛ (рис. 24). Обозначим через  $V$  подводный объем корпуса, отсекаемый ватерлинией ВЛ, а надводный объем выше этой ватерлинии через  $V_n$ . Чем больше разность между полным объемом корпуса  $V_n = V + V_n$  объемом его подводной части  $V$ , тем большее количество груза можно принять на борт судна. Разность между  $V_n$  и  $V$  определяет *запас плавучести*.



Рисунок 24- Запас плавучести.

Запас плавучести обеспечивается величиной надводного борта  $F = H - T$ . Минимальное значение  $F$  регламентируется Правилами о грузовой марке.

Грузовая марка (рис.25) – это специальный знак, наносимый на борта судна в районе миделя, состоящий из трех элементов – палубной линии, диска Плимсоля и гребенки осадок.

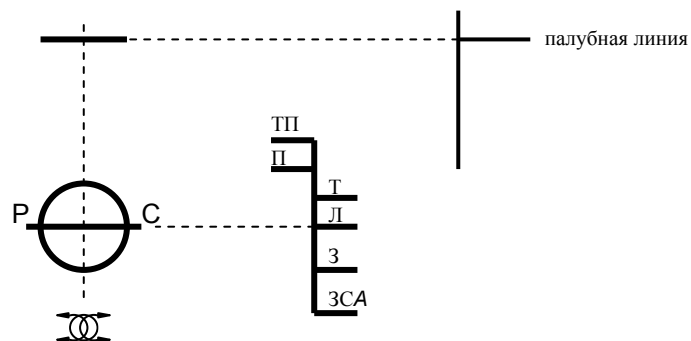


Рисунок 25 - Грузовая марка

Гребенки осадок наносятся в нос от миделя. Буквами обозначены

линии гребенок, соответствующие осадкам, которые должно иметь судно при плавании в различных условиях:

**Л** – плавание летом в соленой воде. Расстояние от верхней кромки этой линии до верхней кромки палубной линии соответствует минимальному надводному борту, назначенному Регистром. Линию Л наносят на одном уровне со средней линией диска Плимсоля;

**З** – плавание зимой в соленой воде. Надводный борт несколько увеличен, так как зимой более часты штормы и возможно обледенение;

**ЗСА** – плавание зимой в Северной Атлантике. Надводный борт малых судов ( $L < 100,5$  м) увеличивается на 50 мм, так как условия плавания зимой в этом районе еще более жестоки. На крупнотоннажных судах этой линии нет;

**Т** – плавание в тропиках в соленой воде. Благодаря спокойным условиям плавания допускается уменьшение надводного борта;

**П** – плавание в пресной воде. Расстояние между линиями Л и П соответствует величине изменения средней осадки при изменении солёности воды;

**ТП** – плавание в тропиках в пресной воде.

При перевозке леса часть груза располагается на палубе, поэтому его можно рассматривать как продолжение надводного борта. Вследствие этого, минимальный надводный борт может быть уменьшен, поэтому лесовозы кроме обычной грузовой марки имеют еще и лесную. Для лесной марки гребенки осадок располагаются в корму от миделя, их обозначения такие же, но с добавлением буквы Л.

Осадку судна определяют по *маркам углубления*, нанесенным на бортах в носу и корме судна. В отличие от теоретической осадки, измеряемой от верхней кромки киля, величину осадки на марках углубления отсчитывают от его нижней кромки.

## 5.2 Остойчивость

*Остойчивостью* называют способность судна противостоять воздействию внешних нагрузок не опрокидываясь. Понятие остойчивости, применяемое в судостроении и морском деле, имеет много общего с устойчивостью равновесия твердого тела.

Чем выше остойчивость, тем больше гарантия судна против опрокидывания.

При изучении остойчивости наклонение в плоскости мидельшпангоута называют *креном*, а наклонение в диаметральной плоскости - *дифферентом*. Соответственно рассматривают *поперечную* и *продольную остойчивость* (см. рис 26). В зависимости от величины угла наклонения выделяют *начальную остойчивость* или остойчивость при малых накло-

нениях и *стойчивость на больших углах крена*. Продольную стойчивость изучают только при малых наклонениях, поскольку углы дифферента в условиях эксплуатации сравнительно невелики.

В зависимости от характера действующих сил рассматривают статическую и динамическую стойчивость. Для *статической стойчивости* характерно медленное изменение угла наклонения, для *динамической* - быстрое изменение угла при внезапных (динамических) нагрузках с заметными скоростями и ускорениями. Действие внешних сил на судно определяют моментом, т. е. произведением силы на плечо. Момент, возникающий в поперечной плоскости называют *кренящим*, а в продольной плоскости - *дифферентующим*.

Стойчивость наряду с плавучестью является важнейшим мореходным качеством. Обеспечение стойчивости судна - одна из главных задач судостроителей, а ее сохранение в процессе эксплуатации - гарантия против опрокидывания.

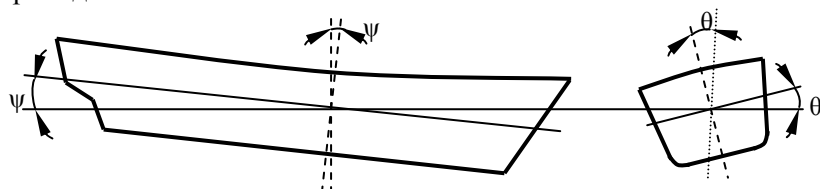


Рисунок 26 - Продольная и поперечная стойчивость судна

Для вывода формул начальной стойчивости примем допущения:

1. При наклонениях палуба не входит в воду, а скула не выходит из воды (углы крена не превышают 10 – 15°);
2. Наклонения происходят вокруг оси, проходящей через центр действующей ВЛ;
3. Центр величины перемещается по окружности.

Рассмотрим поперечные наклонения судна. Если судно под действием внешнего *кренящего момента*  $M_{кр}$  получит крен на угол  $\Theta$ , то вследствие изменения формы подводной части судна центр величины  $C$  переместится в точку  $C_1$ , причем это перемещение, как мы условились, произойдет по дуге окружности с центром в точке *поперечного метацентра*  $M$ , находящейся на пересечении ДП с линией действия сил поддержания (рис. 27).

Сила поддержания  $\gamma V$  будет приложена в точке  $C_1$  и направлена перпендикулярно к действующей ВЛ. Сила  $D$  остается приложенной в точке  $G$ , вместе с силой  $\gamma V$  она образует пару сил, которая препятствует наклонению. Момент этой пары называется *восстанавливающим моментом*  $M_в$ .

$$M_в = D l_{ст},$$

где,  $l_{ст}$  – *плечо стойчивости*, наименьшее расстояние между векторами сил тяжести и поддержания

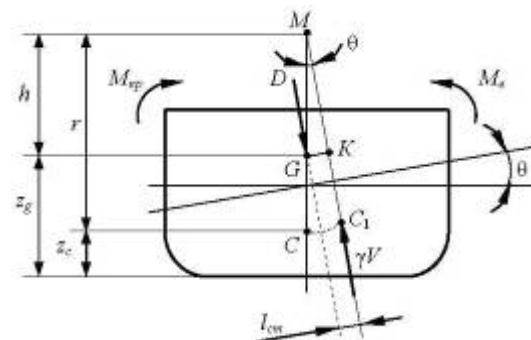


Рисунок 27- К выводу формул поперечной стойчивости

При приложении кренящего момента судно будет наклоняться до тех пор, пока значение  $M_{кр}$  не сравняется с  $M_в$ . Таким образом, у двух судов с одинаковым водоизмещением  $D$ , при приложении одинакового кренящего момента  $M_{кр}$  угол крена  $\Theta$  будет меньше у того судна, у которого больше плечо  $l_{ст}$ .

Из рис. 27 видно, что величина  $l_{ст}$  зависит от взаимного расположения точек  $C$ ,  $G$  и  $M$ . Расстояние между метацентром  $M$  и центром тяжести  $G$  называется *поперечной метацентрической высотой*  $h$ . Из треугольника  $MGK$  видно, что

$$l_{ст} = h \sin \Theta,$$

Тогда,

$$M_в = D h \sin \Theta,$$

Аналогичным образом, можно получить, что для продольной стойчивости

$$M_в = D H \sin \psi,$$

где  $\psi$  – угол дифферента,  $H$  – *продольная метацентрическая высота*.

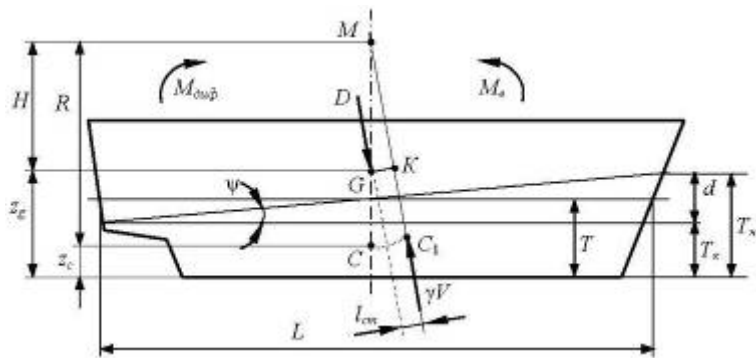


Рисунок 28 - К выводу формул продольной остойчивости

Так как углы  $\Theta$  и  $\psi$  малы, то для малых углов их синусы приближенно равны величине углов, измеренных в радианах,

$$M_с = D h \Theta \quad \text{и} \quad M_с = D H \psi,$$

где  $\Theta$  и  $\psi$  заданы в радианах.

Из рис. 27 и 28 видно, что величины  $h$  и  $H$  зависят от  $r$ ,  $R$ ,  $z_g$  и  $z_c$ .

$$h = r + z_c - z_g,$$

$$H = R + z_c - z_g.$$

Для продольной остойчивости вместо угла  $\psi$  чаще пользуются значением *дифферента*  $d = T_n - T_k$  (рис.28), связанного с  $\psi$  соотношением  $d = \psi L$ . Тогда,

$$M_с = \frac{d DH}{L}$$

Из формул легко получить значения угла крена и дифферента,

$$\Theta = \frac{M_с}{Dh} [\text{рад}], \quad \Theta = 57,3 \frac{M_с}{Dh} [\text{град}].$$

$$d = \frac{M_с L}{DH}.$$

На практике часто пользуются величинами кренящего момента  $m_k$ , изменяющего крен судна на  $1^\circ$  и дифференцирующего момента  $m_d$  изменяющего дифферент на 1 см. Эти величины можно получить приняв в формулах  $\Theta = 1^\circ$  и  $\psi = 1$  см.

$$1 = 57,3 \frac{m_k}{Dh} \quad \text{и} \quad 0,01 = \frac{m_d L}{DH},$$

откуда

$$m_k = \frac{Dh}{57,3} [\text{мм/град}] \quad \text{и} \quad m_d = \frac{DH}{100L} [\text{мм/см}].$$

Зная величины  $m_k$  и  $m_d$  можно рассчитать угол крена или дифферент, возникающий под действием известных моментов  $M_{кр}$  или  $M_{оуф}$ ,

$$\Theta = \frac{M_{кр}}{m_k}, \quad d = \frac{M_{оуф}}{m_d}.$$

### Изменение остойчивости при вертикальном переносе груза

Пусть груз весом  $p$ , находящийся на высоте  $z_0$  от ОП, перенесли вверх, и теперь его центр тяжести находится на высоте  $z$  (рис.29). Расстояние, на которое перенесен груз,

$$\Delta z = z - z_0.$$

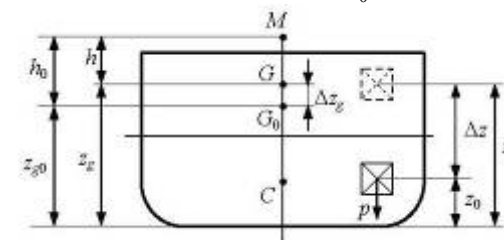


Рисунок 29 - Вертикальный перенос груза

В этом случае ЦВ и метацентр своего положения не изменят, так как объемное водоизмещение осталось прежним по величине и по форме, а ЦТ судна переместится из  $G_0$  в точку  $G$  причем перемещение  $\Delta z_g = z_g - z_{g0}$  будет во столько раз меньше  $\Delta z$ , во сколько раз масса груза меньше массы судна.

$$\frac{\Delta z_g}{\Delta z} = \frac{p}{D}.$$

Из рисунка видно, что изменение метацентрической высоты  $\Delta h = h - h_0$  равно перемещению ЦТ, то есть,  $\Delta h = -\Delta z_g$ . Тогда,

$$\Delta h = -\frac{p}{D} \Delta z.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что вертикальный перенос груза приводит к изменению остойчивости, причем при переносе груза вверх остойчивость уменьшается, а при переносе вниз – увеличивается.

### Изменение угла крена при поперечном переносе груза

Если груз перемещен поперек судна (рис. 30) по горизонтали (из точки с ординатой  $y_0$  в точку с ординатой  $y$ ), то положение центра тяжести судна  $G$  по высоте не изменится (он только переместится вправо в точку  $G_1$ ), и, следовательно, не изменится и метацентрическая высота. Значит,

стойчивость судна не изменится, но появится крен, так как перенос груза создает момент, определяемый по формуле

$$M_{кр} = p \Delta y,$$

где  $\Delta y = y_1 - y_0$  – плечо переноса груза.

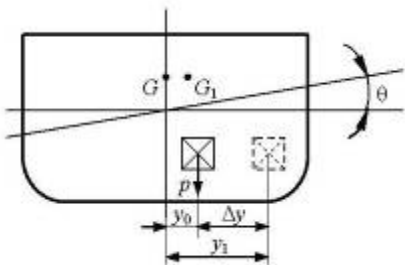


Рисунок 30 - Поперечный перенос груза

Угол крена определяется выражением

$$\Theta = 57,3 \frac{M_{кр}}{Dh}$$

### Изменение дифферента при продольном переносе груза

При перемещении груза вдоль судна (рис.31) по горизонтали (из точки с абсциссой  $x_1$  в точку с абсциссой  $x_2$ ), положение центра тяжести судна  $G_1$  по высоте не изменится, следовательно, и продольная стойчивость судна не изменится, но появится дифферент, так как перенос груза создает момент, определяемый по формуле

$$M_{диф} = p \Delta x,$$

где  $\Delta x = x_2 - x_1$  – плечо переноса груза. Наклонения будут происходить вокруг оси проходящей через центр действующей ВЛ – точка  $F$ , имеющей абсциссу  $x_f$ .

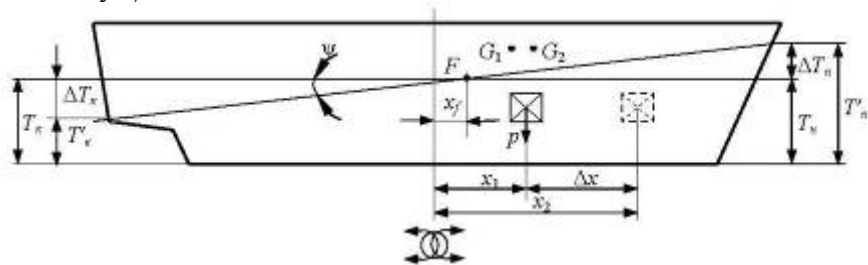


Рисунок 31 - Продольный перенос груза

Дифферент определяется выражением

$$d = \frac{M_{диф} L}{DH},$$

а новые осадки носом и кормой

$$T'_н = T_н + \Delta T_н, \quad T'_к = T_к - \Delta T_к,$$

где  $\Delta T_н = \text{tg } \psi (L/2 - x_f) = d/L (L/2 - x_f) = d (1/2 - x_f/L)$ ,

$$\Delta T_к = d (1/2 + x_f/L).$$

### Изменение стойчивости при изменении нагрузки судна

Прием или снятие малого груза в произвольную точку вызывает изменение стойчивости. Рассмотрим, как меняется поперечная метацентрическая высота судна, если груз принят так, что крен не возникает, т. е.  $\Theta = 0$  (груз принят в ДП). Пусть принятый груз имеет аппликату  $z_p$  (рис.32). После приема груза осадка судна увеличивается на  $\Delta T = p/\gamma S$ . Так как подводный объем получит приращение  $\Delta V = S \cdot \Delta T$ , причем приращение произойдет в верхней части подводного объема, то ЦВ переместится вверх из точки  $C_0$  в точку  $C_1$ . Центр тяжести также переместится из точки  $G_0$  в точку  $G_1$ . Изменит свое положение и метацентр, так как изменились объемное водоизмещение  $V$  и аппликата ЦВ  $z_c$ . Следовательно, изменится и метацентрическая высота, вместо прежней  $h_0$  она станет равной  $h_1$ .

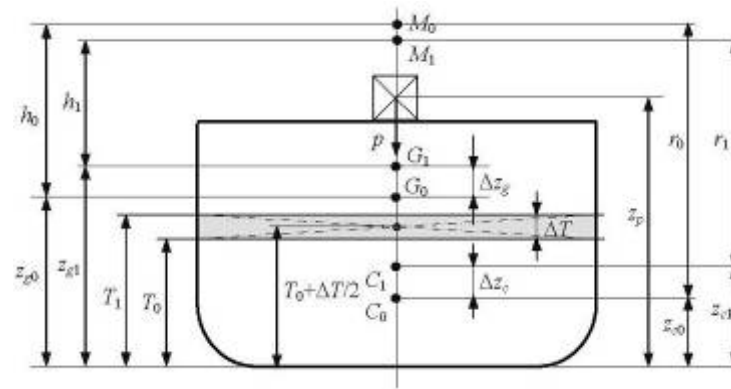


Рисунок 32 - К изменению стойчивости при изменении нагрузки

Так как  $h_0 = r_0 + z_{c0} - z_{g0}$ , очевидно, что новая метацентрическая высота

$$h_1 = r_1 + z_{c1} - z_{g1}.$$

Вычитая почленно первое равенство из второго, получим

$$\Delta h = \Delta r + \Delta z_c - \Delta z_g.$$

где  $\Delta h = h_1 - h_0$ ,  $\Delta r = r_1 - r_0$ ,  $\Delta z_g = z_{g1} - z_{g0}$  – приращение соответствующих величин.

Метацентрический радиус есть отношение *момента инерции площади ВЛ*  $I_x$  к объемному водоизмещению  $V$ .

$$r_0 = \frac{I_{x0}}{V_0} \quad \text{и} \quad r_1 = \frac{I_{x1}}{V_1}.$$

В свою очередь  $I_x$  зависит от длины, ширины судна и коэффициента полноты площади ВЛ,

$$I_x = \frac{\alpha}{2}(1 + \alpha^2) \frac{LB^3}{12}.$$

Поскольку и  $L$ , и  $B$ , и  $\alpha$  в пределах изменения осадки можно считать неизменными, то  $I_{x0} = I_{x1}$ . Тогда

$$\begin{aligned} \Delta r = r_1 - r_0 &= \frac{I_x}{V_1} - \frac{I_x}{V_0} = \frac{I_x}{V_0 + \Delta V} - \frac{I_x}{V_0} = \frac{I_x V_0 - I_x(V_0 + \Delta V)}{V_0(V_0 + \Delta V)} = \\ &= \frac{I_x V_0 - I_x V_0 - I_x \Delta V}{V_0(V_0 + \Delta V)} = -\frac{\Delta V}{V_0 + \Delta V} \frac{I_x}{V_0} = -\frac{\gamma \Delta V}{\gamma V_0 + \gamma \Delta V} r_0 = \frac{p}{D_0 + p} (-r_0). \end{aligned}$$

Приращение аппликаты ЦВ найдем из уравнения статических моментов. При этом будем считать, что центр вошедшего в воду объема  $\Delta V$  лежит посередине приращения осадки  $\Delta T$ .

$$\begin{aligned} \Delta z_c = z_{c1} - z_{c0} &= \frac{V_0 z_{c0} + \Delta V(T_0 + \frac{\Delta T}{2})}{V_0 + \Delta V} - z_{c0} = \\ &= \frac{V_0 z_{c0} + \Delta V(T_0 + \frac{\Delta T}{2}) - (V_0 + \Delta V)z_{c0}}{V_0 + \Delta V} = \frac{V_0 z_{c0} + \Delta V(T_0 + \frac{\Delta T}{2}) - V_0 z_{c0} - \Delta V z_{c0}}{V_0 + \Delta V} = \\ &= \frac{+ \Delta V(T_0 + \frac{\Delta T}{2}) - z_{c0} \Delta V}{V_0 + \Delta V} = \frac{\Delta V}{V_0 + \Delta V} (T_0 + \frac{\Delta T}{2} - z_{c0}) = \frac{p}{D_0 + p} (T_0 + \frac{\Delta T}{2} - z_{c0}). \end{aligned}$$

Приращение аппликаты ЦТ найдем таким же образом.

$$\begin{aligned} \Delta z_g = z_{g1} - z_{g0} &= \frac{D_0 z_{g0} + p z_p}{D_0 + p} - z_{g0} = \frac{D_0 z_{g0} + p z_p - (D_0 + p) z_{g0}}{D_0 + p} = \\ &= \frac{D_0 z_{g0} + p z_p - D_0 z_{g0} - p z_{g0}}{D_0 + p} = \frac{p}{D_0 + p} (z_p - z_{g0}). \end{aligned}$$

Суммируя полученные выражения для  $\Delta r$ ,  $\Delta z_c$ ,  $\Delta z_g$ , получим

$$\Delta h = \Delta r + \Delta z_c - \Delta z_g = \frac{p}{D_0 + p} (-r_0 + T_0 + \frac{\Delta T}{2} - z_{c0} - z_p + z_{g0}).$$

В данном выражении, в скобках, сумма  $(-r_0 - z_{c0} + z_{g0}) = -h_0$ . Тогда,

$$\Delta h = \frac{p}{D_0 + p} (T_0 + \frac{\Delta T}{2} - z_p - h_0).$$

В случае приема или перемещения груза в произвольную точку, вначале рассчитывается изменение остойчивости предполагая, что  $x_p = x_g$ ,  $y_p = y_g$ , а затем определяются дифферент и угол крена от перемещения груза к заданной точке.

### Влияние на остойчивость подвешенных грузов

Если груз в начальный момент времени находился в трюме судна, причем аппликата его центра тяжести была  $z_{p1}$  (рис.33, а), то при подъеме его стрелой происходит как бы мгновенный перенос груза в точку А с аппликатой  $z_{p2}$ . Расчетная схема в этом случае имеет вид

$$\begin{aligned} h_1 &= h_0 + \Delta h, \\ \Delta h &= -\frac{p}{D} (z_{p2} - z_{p1}). \end{aligned}$$

Поскольку  $z_{p2}$  значительно больше  $z_{p1}$ , поправка  $\Delta h$  будет довольно большой и отрицательной, что даст значительное уменьшение метацентрической высоты.

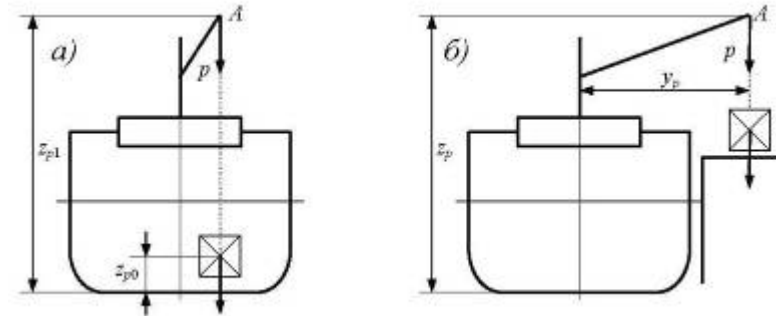


Рисунок 33 - Влияние на остойчивость подвешенного груза

Если же груз весом  $p$  принимается грузовой стрелой на судно с берега (рис.33, б), то кроме уменьшения остойчивости судно накренится. Следовательно, расчет крена и уменьшения остойчивости можно вести по схеме приема груза, т. е.

$$\Theta = 57,3 \frac{M_{кр}}{D_1 h_1},$$

$$M_{кр} = p y_p, \quad D_1 = D_0 + p, \quad h_1 = h_0 + \Delta h,$$

$$\Delta h = \frac{p}{D_1} (T_0 + \frac{\Delta T}{2} - z_p - h_0),$$

$$\Delta T = \frac{p}{\gamma S}.$$

Так как, обычно,  $z_p$  значительно больше  $T$ , поправка  $\Delta h$ , получится довольно большой, причем отрицательной, что приведет к значительному уменьшению метacentрической высоты и большому углу крена.

### Влияние на остойчивость жидких грузов

Если цистерна заполнена не доверху, т. е. в ней имеется свободная поверхность жидкости (рис. 34), то при крене жидкость перельется в сторону крена и поверхность жидкости станет параллельной действующей ватерлинии, а центр тяжести жидкости переместится из точки  $a$ , в точку  $a_1$  (в результате изменения формы жидкости). В этом случае появится дополнительный кренящий момент

$$M_o = p a a_1,$$

где  $p = \gamma_{ж} v$  – масса жидкости в цистерне,  $v$  – объем жидкости в цистерне,  $\gamma_{ж}$  – удельный вес жидкости.

Плечо  $aa_1$  можно определить из треугольника  $aa_1m$

$$aa_1 = am \sin \Theta.$$

Величину отрезка  $am$  находим по формуле

$$am = \frac{i_x}{v}$$

где  $i_x$  – момент инерции свободной поверхности жидкости относительно продольной оси. Для прямоугольной цистерны

$$i_x = \frac{lb^3}{12}$$

где  $l$  – длина цистерны, измеренная вдоль длины судна,  $b$  – ширина цистерны.

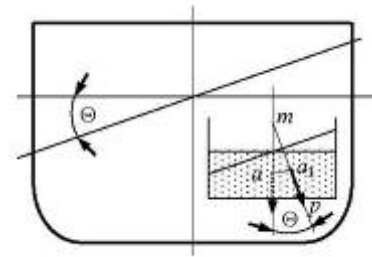


Рисунок 34 - Влияние на остойчивость жидкого груза

Тогда дополнительный кренящий момент равен

$$M_o = \gamma_{ж} i_x \sin \Theta.$$

Восстанавливающий момент судна с учетом влияния свободной поверхности жидкости

$$M_e = M_{e0} - M_o.$$

где  $M_{e0}$  – восстанавливающий момент без учета переливания жидкости.

Так как,  $M_e = Dh \sin \Theta$  можно записать

$$Dh \sin \Theta = Dh_0 \sin \Theta - \gamma_{ж} i_x \sin \Theta.$$

или

$$h = h_0 - \frac{i_x \gamma_{ж}}{D}.$$

где  $\frac{i_x \gamma_{ж}}{D} = \Delta h$  – поправка на влияние свободной поверхности. Эта поправка

ка всегда отрицательная и пропорциональна моменту инерции свободной поверхности, который, в первую очередь, зависит от ширины цистерны.

### Влияние на остойчивость сыпучих грузов

При перевозке сыпучих грузов в основном наблюдается та же картина, что и при наличии жидких грузов, но с некоторыми характерными особенностями.

При загрузке сыпучий груз образует, так называемый *угол естественного откоса*  $\phi$ . При наклонении судна, начинается пересыпание груза в сторону борта вошедшего в воду. Пересыпавшийся на борт груз при выпрямлении судна не вернется в прежнее положение, а, оставшись у борта, создаст *остаточный крен* (рис.35), что при повторных наклонениях может привести к потере остойчивости и опрокидыванию судна. Для борьбы с этим явлением стремятся уменьшить ширину свободной поверхности. Чаще всего прибегают к установке в трюмах подвесных *полупереборок*



(шифтинг-бордсов), погруженных в сыпучий груз на 1–1,5 м.

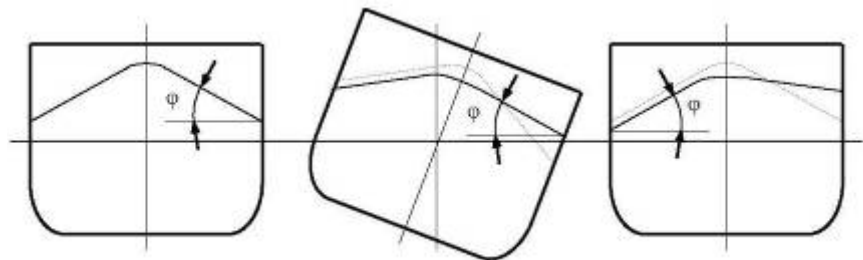


Рисунок 35 - Влияние на остойчивость сыпучего груза

Другой особенностью сыпучего груза является его способность к усадке. Зерно, насыпанное в трюм доверху, через некоторое время из-за вибрации корпуса уплотняется, и появляется свободная поверхность. Предотвратить усадку могут специальные бункеры-питатели, пополняющие убыль зерна в трюме.

На судах, специально предназначенных для перевозки сыпучих грузов, трюмы конструируют так, чтобы уменьшить свободную поверхность груза (рис.36).

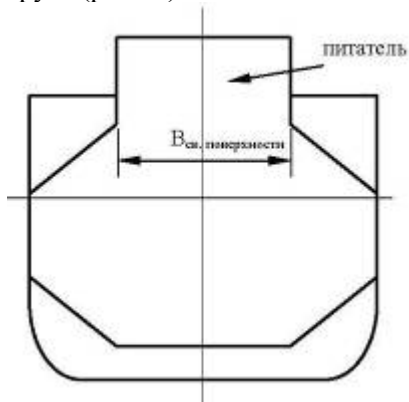


Рисунок 36 - Форма трюма судна для сыпучих грузов

### Кренящий момент от действия ветра

При воздействии ветра, его нагрузка воспринимается только надводной частью судна. Наихудший случай, когда судно расположено перпендикулярно к направлению ветра. Равнодействующая сил давления ветра воспринимаемая судном определяется по формуле,

$$P_v = p_v S_n,$$

где  $S_n$  – площадь парусности – площадь проекции надводной части судна на ДП (рис.37, а),  $p_v$  – удельное давление ветра ( $т/м^2$ ).

Сила  $P_v$  приложена в точке называемой *центр парусности* (ЦП), с аппликатой  $z_n$ . При статическом воздействии ветра (рис.37, б) этой силе противостоит сила *бокового сопротивления*  $R_b$  – реакция воды приложенная в *центре бокового сопротивления* (ЦБС) – центре проекции подводной части судна на ДП. Аппликата ЦБС расположена приблизительно на середине осадки. Понятно, что сила  $P_v$  расположена значительно выше силы  $R_b$ . Вследствие этого образуется кренящий момент равный

$$M_{кр} = P_v \left( z_n - \frac{T}{2} \right).$$

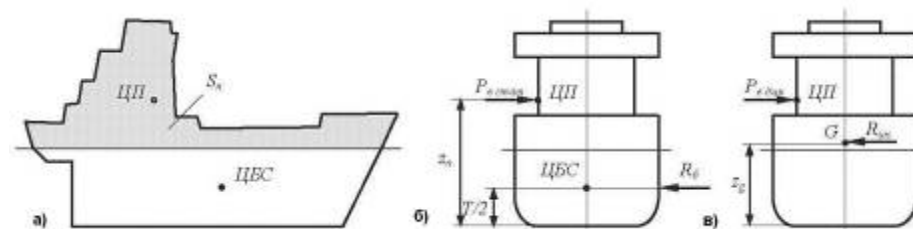


Рисунок 37 - К определению ветрового кренящего момента

При динамическом (шквальном) воздействии ветра (рис.37, в) силе  $P_v$  противостоит сила *инерции покоя*  $R_{ин}$  – реакция массы приложенная в *центре тяжести судна* с аппликатой  $z_g$ . Кренящий момент, в этом случае, равен

$$M_{кр} = P_v (z_n - z_g).$$

Углы крена определяют по полученным ранее формулам.

### Остойчивость на больших углах крена

При поперечных наклонениях судна на угол больше 10–15° уже нельзя пользоваться формулами выведенными ранее, так как, принятые допущения становятся неприменимыми, поскольку при больших углах крена центр тяжести площади наклонной ватерлинии смещается с ДП, вследствие того, объем вошедший в воду из-за палубы получается меньше, чем объем вышедший из воды (рис.38). Так как наклонения будут происходить не относительно пересечения ДП и ВЛ, то ЦВ будет перемещаться не по дуге окружности, а по дуге переменной кривизны и метацентрический радиус изменит свою величину. Следовательно, и метацентрическая высота не будет постоянной и ее величину нельзя использовать в качестве критерия остойчивости судна.

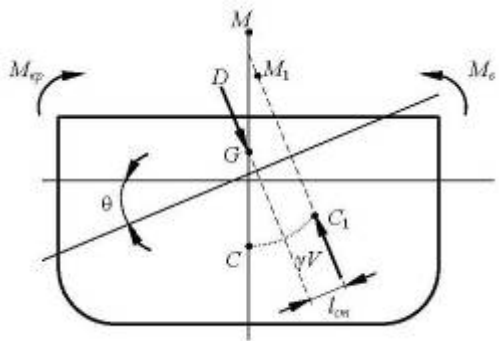


Рисунок 38 - К определению остойчивости на больших  $\Theta$

Как уже говорилось ранее, судно перестанет крениться, когда значение восстанавливающего момента станет равно значению кренящего момента. Поэтому восстанавливающий момент и принимается в качестве *абсолютного* критерия остойчивости, а *относительным* критерием является плечо статической остойчивости  $l_{cm}$ , связанное с моментом соотношением

$$M_B = D l_{cm}$$

Для решения вопросов остойчивости на больших углах крена используется *диаграмма статической остойчивости* (рис. 39), представляющая собой график, выражающий зависимость моментов  $M_e$  или плеч  $l_{cm}$ , от угла крена  $\Theta$ .

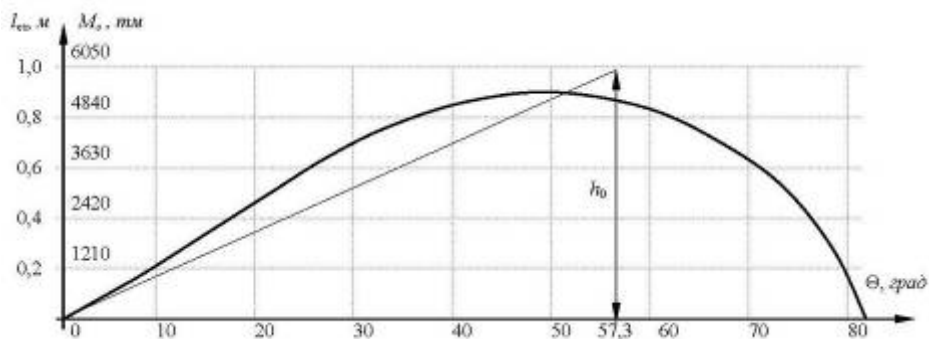


Рисунок 39 - Диаграмма статической остойчивости

Диаграмму статической остойчивости строят для определенной аппликаты ЦТ судна и определенного водоизмещения. Касательная, проведенная к диаграмме из точки начала координат на угле  $\Theta = 57,3^\circ = 1 \text{ рад}$

имеет ординату равную начальной метацентрической высоте  $h_0$ . При наклонениях судна плечи статической остойчивости постепенно увеличиваются от нуля (при прямом положении судна) до максимального значения (обычно при крене  $30 - 40^\circ$ ), а затем уменьшаются до нуля и далее становятся отрицательными. Рассмотрим характерные случаи остойчивости при наклонениях судна (рис.40).

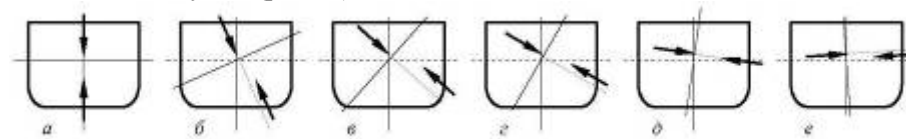


Рисунок 40 - Изменение остойчивости при наклонениях судна

- a.  $\Theta = 0^\circ$  – положение статического равновесия,  $l_{cm} = 0$ .
- б.  $\Theta = 24^\circ$  – появилось плечо статической остойчивости,  $l_{cm} = 0,59$  м.
- в.  $\Theta = 49^\circ$  – плечо остойчивости достигло значения максимума,  $l_{cm} = 0,90$  м.
- г.  $\Theta = 60^\circ$  – плечо статической остойчивости уменьшается,  $l_{cm} = 0,82$  м.
- д.  $\Theta = 82^\circ$  – положение неустойчивого равновесия,  $l_{cm} = 0$ , даже небольшое увеличение крена приведет к опрокидыванию судна.
- е.  $\Theta > 82^\circ$  – плечо статической остойчивости стало отрицательным,  $l_{cm} < 0$ , восстанавливающий момент стремится опрокинуть судно, поскольку направлен в ту же сторону, что и кренящий.

Таким образом, судно, наклоненное до угла  $\Theta = 82^\circ$  вернется в прямое положение, т. е. судно остойчиво в пределах углов крена от  $0^\circ$  до  $82^\circ$ . Точка пересечения кривой с осью абсцисс, соответствующая углу опрокидывания судна ( $\Theta = 82^\circ$ ), называется *точкой заката диаграммы*. Максимальный кренящий момент, который может выдержать судно, не опрокидываясь, соответствует максимальному плечу статической остойчивости.

### Динамическая остойчивость

При статическом действии кренящего момента состояние равновесия судна наступает при условии равенства моментов, т. е. при  $M_{кр} = M_e$ . При динамическом действии кренящего момента, когда он действует на судно внезапно (рывком, ударом), судно кренится значительно быстрее, чем при статическом действии момента той же величины. Набирая значительную угловую скорость, судно, по инерции пройдет положение статического равновесия и наклонится на угол больший  $\Theta_{ст}$ . Прекращение наклонения произойдет тогда, когда работа кренящего момента станет равной работе восстанавливающего. Следовательно, условием динамического равновесия является выражение  $A_{кр} = A_e$ , где  $A_{кр}$  – работа кренящего момента,  $A_e$  – работа восстанавливающего момента.

Так как работа – это сила, умноженная на перемещение, то, в дан-

ном случае,  $A = M \cdot \Theta$  и на диаграмме работа моментов будет изображаться в виде площади ограниченной диаграммой (рис.41), причем площадь над диаграммой - это работа кренящего момента, а под диаграммой - работа восстанавливающего момента.

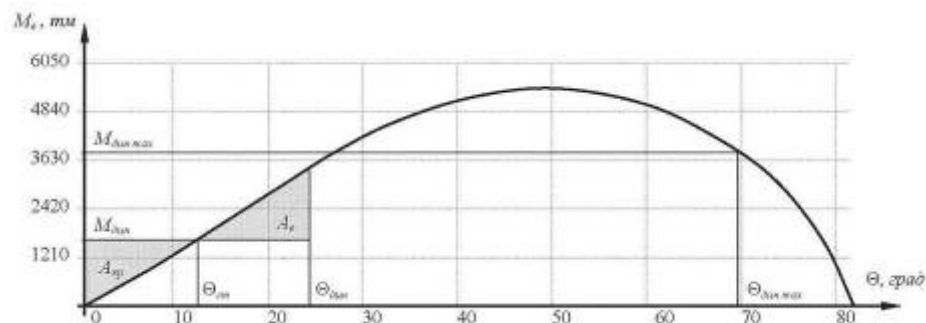


Рисунок 41 - Определение углов динамического крена

Из рисунка видно, что площадь, соответствующая работе кренящего момента, ограничена слева - прямой начала координат, сверху - прямой кренящего момента и снизу - кривой статической остойчивости. Соответственно работа кренящего момента зависит от его значения. Площадь, соответствующая работе восстанавливающего момента, ограничена снизу - прямой кренящего момента, сверху - кривой статической остойчивости и справа - вертикальной прямой. Очевидно, что работа восстанавливающего момента зависит от положения этой прямой, при определенном положении которой  $A_в$  сравняется с  $A_кр$ . Следовательно, положение этой прямой и будет соответствовать углу динамического крена  $\Theta_{дин}$ .

Максимальный угол крена при динамическом воздействии  $M_{кр}$  будет соответствовать, площади над прямой кренящего момента, ограниченной только этой прямой (т.е. высота правой границы должна быть равной 0). Для приведенной диаграммы  $M_{кр max} \approx 3900$  тм, а  $\Theta_{дин max} = 69,5^\circ$ .

Использование диаграммы статической остойчивости для определения углов динамического крена неудобно по причине сложности определения площадей. Поэтому для динамической остойчивости строят диаграмму динамической остойчивости (рис.42), где ординаты диаграммы динамической остойчивости в масштабе соответствуют площадям диаграммы статической остойчивости.

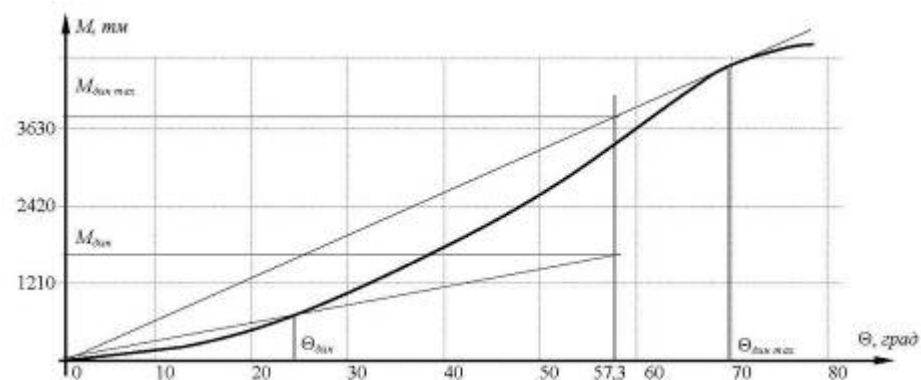


Рисунок 42 - Диаграмма динамической остойчивости

По оси абсцисс откладывают углы крена, а по оси ординат - значения работы восстанавливающего момента. Из точки на оси абсцисс, соответствующей углу  $57,3^\circ$ , восстанавливают перпендикуляр. Для определения угла крена при воздействии на судно  $M_{кр}$  необходимо отметить его значение на оси ординат, провести через получившуюся точку горизонтальную прямую до пересечения с вертикалью  $\Theta = 57,3^\circ$  и провести диагональ соединяющую точку пересечения с точкой начала координат. Точка пересечения диагонали с кривой динамической остойчивости соответствует динамическому углу крена. Максимальный угол крена  $\Theta_{дин max}$  при воздействии  $M_{кр}$  определится тогда, когда диагональ будет не пересекать кривую, а только касаться ее.

### 5.3 Непотопляемость судна.

Непотопляемостью называют способность судна сохранять свои основные мореходные качества - плавучесть и остойчивость при затоплении одного или нескольких отсеков. Учение о непотопляемости в основном связано с именами отечественных ученых С. О. Макарова и А. Н. Крылова, идеи которых были развиты их учениками и последователями. С. О. Макаров выдвинул совершенно новые положения в практике обеспечения непотопляемости. Он доказал, что спасать корабли при получении пробоин надо не откачкой воды. Наоборот, надо спрямлять корабль, затопляя другие отсеки, чтобы не произошло опрокидывания.

Для общего представления об опасности, связанной с аварийным затоплением судна, рассмотрим небольшой численный пример. Из курса физики известно, что секундный расход жидкости, протекающий через отверстие площадью  $S$ , будет равен  $q = SV_0$ , где  $V_0 = \sqrt{2gH}$  скорость исте-

чения, зависящая от глубины погружения рассматриваемого отверстия. Часовой расход жидкости составляет  $Q = 3600q = 3600S\sqrt{2gH}$ .

Пусть судно получило в днище пробоину  $S = 0,1 \text{ м}^2$ , отстояние которой от действующей ватерлинии составляет 5 м. Тогда  $Q = 3600 \times 0,1 \sqrt{2 \times 9,81 \times 5} \approx 3600 \text{ м}^3 / \text{ч}$ .

При площади пробоины  $S = 1 \text{ м}^2$  значение  $Q$  достигает  $36\,000 \text{ м}^3 / \text{ч}$ . Если учесть, что реальные размеры пробоины могут достигать нескольких квадратных метров, а иногда и нескольких десятков метров, становится ясно, что никакие, даже самые мощные водоотливные средства не способны обеспечить откачку поступающей воды, количество которой растет катастрофически.

Важным условием обеспечения непотопляемости является сохранение судном аварийной остойчивости, поскольку потеря остойчивости всегда опаснее потери плавучести (судно тонет в течение десятков минут, а иногда и нескольких часов, в то время как опрокидывается за считанные секунды). Угроза опрокидывания при получении пробоины возможна либо за счет асимметрии затопления (повреждение бортового отсека), приводящей к возникновению значительных кренящих моментов, либо вследствие приема больших масс воды и образования свободной поверхности.

Определение элементов непотопляемости судна сводится к определению изменения осадки, угла крена и дифферента в результате затопления отсеков. Если рассматривать воду влившуюся в отсек как принятый груз, то задача решается методами плавучести и остойчивости рассмотренными ранее. Поэтому, по сути, непотопляемость есть не что иное, как аварийная плавучесть и аварийная остойчивость.

По характеру затопления отсека можно разделить на три категории (рис.43):

- I категория – отсек затоплен полностью;
- II категория – отсек затоплен не полностью, и вода в нем не сообщается с забортной водой;
- III категория – отсек затоплен не полностью, и вода в нем сообщается с забортной водой.

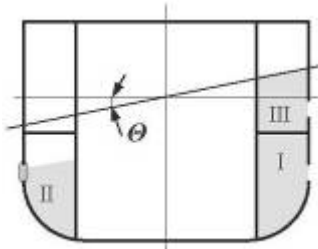


Рисунок 43 - Категории затопленных отсеков

Каждая категория затопления имеет свой расчетный метод определения конечной посадки судна.

Затопление отсеков первой категории можно рассматривать как прием груза  $p_v$  равного весу воды, влившейся в отсек, в точку с координатами  $x_v, y_v, z_v$ , соответствующими координатам центра тяжести отсека.

Так как часть внутреннего объема любого помещения занята балками набора, механизмами, трубопроводами, объем воды, влившейся в отсек, окажется меньше теоретического объема отсека. Величина, показывающая, какую долю от теоретического объема составит объем воды, называется коэффициентом проницаемости  $\mu$ . Средние значения коэффициентов  $\mu$ , можно принимать:

- для пустых отсеков 0,98
- для кают и других жилых помещений 0,95
- для машинно-котельных отделений 0,85
- для трюмов с грузом 0,60

Тогда масса влившейся в отсек воды,

$$p_v = \mu \gamma v,$$

где  $v$  – затопленный объем отсека,  $\gamma$  – удельный вес забортной воды.

Масса воды попавшая в отсек будет обуславливать изменение осадки, метацентрической высоты, угла крена и дифферента. Расчет этих параметров осуществляется по формулам плавучести и остойчивости, по следующей схеме.

Изменение средней осадки

$$\Delta T_x = \frac{p_x}{\gamma S}$$

где  $S$  – площадь ВЛ.

Изменение метацентрической высоты

$$\Delta h = \frac{p_x}{D + p_x} \left( T_0 + \frac{\Delta T_p}{2} - h_0 - z_x \right)$$

где  $T_0$  – начальная осадка,  $h_0$  – начальная метацентрическая высота.

Новая метацентрическая высота –  $h = h_0 + \Delta h$ .

Угол крена, который приобретет судно в результате затопления

$$\Theta = 57,3 \frac{M_{kp}}{D_{ac} h} = 57,3 \frac{p_x y_x}{(D + p_x) h}$$

При вычислении дифферента изменением продольной метацентрической высоты можно пренебречь. Тогда

$$d = \frac{M_{\text{офп}} L}{D_{\text{ав}} H} = \frac{p_x x_x L}{(D + p_x) H}$$

Изменение осадок носом и кормой от дифферента

$$\Delta T_n = d \left( \frac{1}{2} - \frac{x_f}{L} \right), \quad \Delta T_k = d \left( \frac{1}{2} + \frac{x_f}{L} \right)$$

Новые осадки носом и кормой

$$T_{\text{н ав}} = T_0 + \Delta T_v + \Delta T_n, \quad T_{\text{к ав}} = T_0 + \Delta T_v - \Delta T_k$$

Затопление отсеков второй категории можно рассматривать, как и предыдущий вариант, но дополнительно необходимо учитывать влияние свободной поверхности воды в отсеке.

Затопление отсека третьей категории дает совсем иную картину. Масса влившейся воды, в данном случае, величина переменная, поскольку зависит от положения аварийной ВЛ, угла крена, дифферента. В этом случае считается, что нагрузка судна не изменилась, а затопленный отсек не принадлежит судну и следовательно, не создает сил поддержания. Тогда изменение средней осадки судна можно посчитать по формуле

$$\Delta T = \frac{x}{S - s}$$

где  $v$  – объем затопленного отсека,  $S$  – площадь ВЛ,  $s$  – площадь ватерлинии в поврежденном отсеке. Поправка к метацентрической высоте с учетом влияния свободной поверхности воды

$$\Delta h = \frac{x}{V} \left( T_0 + \frac{\Delta T}{2} - h_0 - \frac{i_x}{x} \right)$$

где  $V$  – начальное водоизмещение,  $i_x$  – момент инерции площади свободной поверхности воды в отсеке

Самый сложный случай непотопляемости – это несимметричное относительно ДП затопление отсека. Углы аварийного крена при этом могут оказаться больше угла заката диаграммы статической остойчивости. Поэтому для борьбы с несимметричным затоплением устраивают переточки между симметричными отсеками правого и левого борта. Для ликвидации дифферента такие переточки устроить невозможно, поскольку расстояния между кормовыми и носовыми отсеками очень велики. Тогда изменение осадок носом и кормой будет зависеть от массы влившейся в отсек воды (изменение средней осадки) и от координаты  $x$  затопленного отсека (изменение дифферента). В средней части судна, где плечи  $x$  невелики изменение посадки в основном зависит только от  $\Delta T_v$ . В оконечностях, где объемы отсеков меньше по сравнению со средней частью изменение посадки зависит в основном от изменения дифферента. В любом случае изменение посадки будет зависеть от объема отсека  $v$ .

Правила Регистра требуют, чтобы при затоплении одного или нескольких смежных отсеков судно погружалось не глубже, чем по предельную линию погружения, проходящую на 76 мм ниже бортовой линии палубы переборок. Поскольку при затоплении образуется дифферент, то нос или корма будут погружаться глубже, чем середина судна (рис.44). Поэтому палуба имеет седловатость – подъем от миделя к оконечностям.

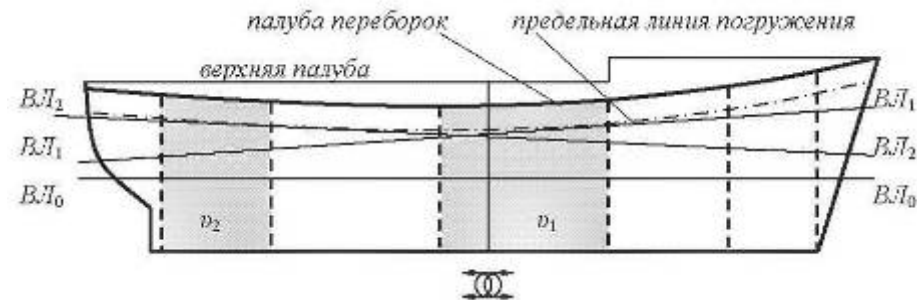


Рисунок 44 - Определение посадки при затоплении отсека.

Для определения максимально допустимой длины отсека строят кривую предельных длин затопления.

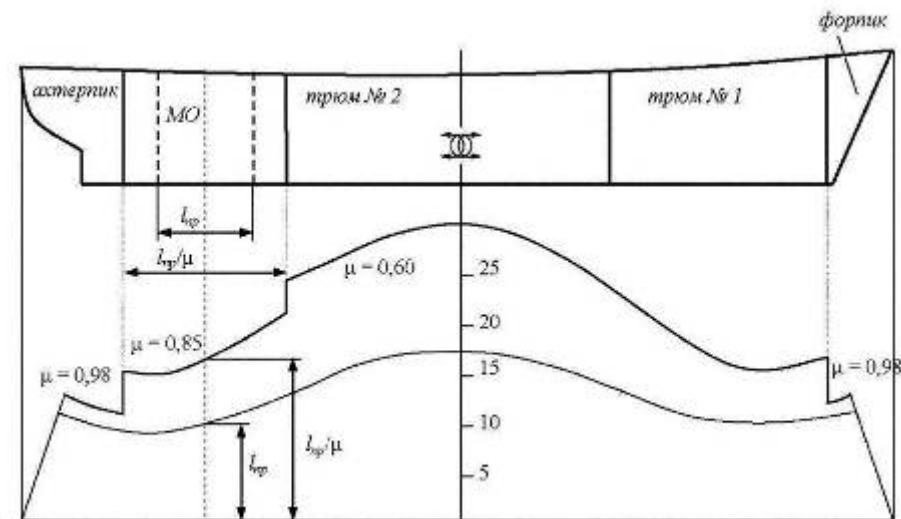


Рисунок 45 - Кривая предельных длин затопления

Пользуясь этой кривой, проверяют длины отсеков, назначенные по конструктивным соображениям. Если длины отсеков назначены больше предельных, то их надо уменьшить. С учетом коэффициентов проницае-

мости, ординаты кривой предельных длин отсеков увеличиваются (рис.45, верхняя кривая), следовательно и могут быть увеличены длины отсеков. Так, из рисунка видно, что длина машинного отделения  $l_{np}$ , с учетом коэффициента проницаемости  $\mu = 0,85$  может быть увеличена до величины  $l_{np}/\mu$ .

Предельно допустимую длину отсека можно определить по диаграмме предельных длин затопления с учетом стандарта непотопляемости судна. Так если непотопляемость должна обеспечиваться при затоплении одного отсека (одноотсечный стандарт), то максимальная длина отсека может равняться предельной длине затопления. Для двухотсечного стандарта максимальная длина отсека должна быть меньше предельной длине затопления в два раза. Для трехотсечного – в три раза. Для учета стандарта непотопляемости судна применяется фактор подразделения судна на отсеки  $F$ . Для одноотсечного стандарта  $F$  лежит в пределах  $(0,5...1)$ , для двухотсечного –  $(0,33...0,5)$ , для трехотсечного  $F \leq 0,33$ . Таким образом предельная длина отсека

$$l_{omc \max} = \frac{l_{np} F}{\mu}$$

Непотопляемость обеспечивается конструктивными и организационно-техническими мероприятиями, а также действиями экипажа в борьбе за живучесть судна после получения пробоины. Основное конструктивное средство обеспечения непотопляемости заключается в подразделении судна на отсеки системой водонепроницаемых переборок. Расстановку переборок производят с учетом придания судну определенных запасов плавучести и остойчивости. Устройство двойного дна и двойных бортов, позволяет при неглубоких повреждениях ограничивать поступление воды пределами одного-двух отсеков в межднищевом или междубортным пространстве.

Разделение больших отсеков на более мелкие имеет важное значение для повышения непотопляемости и в другом отношении. Наличие большого числа отсеков позволяет выравнивать посадку аварийного судна путем затопления неповрежденных отсеков. Развивая идеи С. О. Макарова, А. Н. Крылов предложил использовать на боевых кораблях *таблицы непотопляемости*, позволяющие в боевых условиях вести активную борьбу за живучесть. Основная идея, заложенная в таблицах непотопляемости, состояла в обеспечении необходимых условий посадки корабля для продолжения боевых действий при получении пробоины и затоплении отсеков. С помощью таблиц непотопляемости можно было оперативно решить вопрос о том, какой отсек или группу отсеков противоположного борта следует затопить, чтобы выровнять посадку судна после затопле-

ния. В настоящее время эта задача решается на ЭВМ с помощью специально разработанных программ.

#### 5.4 Качка судна.

*Качкой* называют колебательное движение судна, совершаемое под воздействием внешних возмущений. Плавающее судно имеет шесть степеней свободы, поэтому рассматривают три вида поступательного движения судна (продольные, поперечные и вертикальные колебания) и три вида вращательного движения (бортовую, килевую качку и рыскание - колебательное движение относительно вертикальной оси). Совместную килевую и вертикальную качку называют продольной качкой, а совместную бортовую и поперечно-горизонтальную - боковой качкой (рис. 46). Изучение качки в основном обязано трудам отечественных ученых и в первую очередь А. Н. Крылову, который разработал общую теорию качки судов на волнении, являющуюся фундаментом для последующего развития вопроса с учетом современных методов теории вероятностей.

Качка судна - явление отрицательное. Она ухудшает остойчивость, ходкость и управляемость судна, вызывает перегрузку корпусных конструкций и сказывается на работе приборов, оборудования и механизмов, вызывает “морскую болезнь” у пассажиров. При качке может появиться опасный крен, что может привести к опрокидыванию судна. Также под действием инерционных сил могут возникнуть деформации и разрушения корпусных конструкций и, кроме этого, возможен срыв груза с места и механизмов с фундаментов.

Из всех видов качки особый практический интерес представляет *бортовая качка*, сопровождающаяся большими отклонениями судна от положения равновесия и вызывающая резкое ухудшение мореходных качеств и, в первую очередь, остойчивости.

При килевой качке оконечности судна могут выходить из воды. При выходе кормовой оконечности оголяется гребной винт. Поскольку плотность воздуха меньше, чем воды вращение винта убыстряется. При входе винта в воду происходит резкое торможение, возникают опасные напряжения в валопроводе и на подшипниках, что может привести к их разрушению. В носовой оконечности может возникать слеминг – удар корпуса о волну при резком входе носовой оконечности в воду.

Помимо вышеперечисленных факторов отрицательное влияние качки выражается в залипании палубы водой, снижении скорости хода (а, следовательно, увеличении времени рейса и расхода топлива).

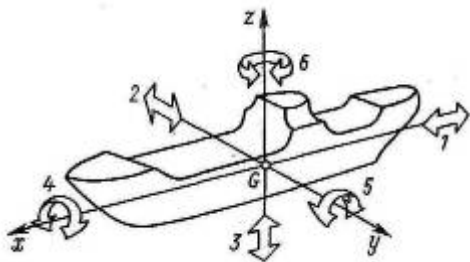


Рисунок 46 - Виды качки.

1 — продольно-горизонтальная; 2 - поперечно-горизонтальная; 3 - вертикальная; 4 – бортовая; 5 - килевая; 6 – рыскание.

Качку характеризуют амплитудой, периодом, частотой. *Амплитудой* называют максимальное отклонение судна от положения равновесия. *Период качки* представляет собой время одного полного колебания. Период состоит из двух размахов. Например, если судно наклонить на угол  $\theta$  и предоставить ему свободно колебаться, то периодом будет отрезок времени при наклонении судна от угла  $\theta$  на правый борт, до угла  $-\theta$  на левый борт и обратно, т. е. до возвращения судна в исходное положение с креном  $\theta$ . *Размах* - время наклонения судна от угла  $\theta$  до угла  $-\theta$  или от угла  $-\theta$  до  $\theta$ . Амплитуду качки измеряют либо в единицах длины (для поступательных движений), либо в градусах или радианах (для вращательных движений). Для судна отклоненного от положения равновесия на угол  $\theta$ , величина этого угла и характеризует амплитуду.

Основной причиной качки судов является морское волнение. Волны возникают в основном под воздействием ветра. Сначала они появляются в виде мелких неровностей на поверхности моря, и, взаимодействуя с ветром, постепенно увеличиваются, превращаясь в огромные валы, обладающие колоссальной энергией. Такие волны перемещаются на большие расстояния уже после того, как прекратился ветер, и способны раскачать любое океанское судно. Наблюдая штормовое море, можно заметить, что морское волнение лишено какой-либо видимой закономерности. Этот случайный процесс представляют суммой отдельных регулярных волн. Каждую волну описывают выражением :

$$y = r_0 \sin(kx + \sigma t)$$

где  $r_0$  - амплитуда;  $k = 2\pi / \lambda$  - частота формы;  $\lambda$  - длина волны;  $\sigma$  - круговая частота;  $t$  - время.

График, вычерченный по этой формуле для определенного момента

времени, дает форму поверхности в виде волнистой кривой с амплитудой  $r_0$  и расстоянием между гребнями  $\lambda = 2\pi / k$ .

В другой момент картина повторится, смещаясь на величину  $\lambda$  с частотой  $\sigma$  и периодом  $\tau = 2\pi / \sigma \approx 0,8\sqrt{\lambda}$ .

Скорость перемещения волны выражают через длину волны и ускорение свободного падения :

$$C = \sqrt{\frac{g}{k}} = 1,25\sqrt{\lambda}$$

Приведенные формулы показывают, что период и скорость распространения волны пропорциональны корню квадратному из длины волны. Следовательно, длинные волны имеют большой период. Они медленно поднимаются и опускаются и движутся с большой скоростью. Замеряя период волны, легко вычислить ее длину и скорость бега.

При движении морских волн каждая частица воды описывает орбиту, близкую к круговой. По мере удаления от поверхности, орбиты становятся все меньше и меньше, и на глубине, равной длине волны, волновое движение почти полностью исчезает (радиус орбит в 535 раз меньше, чем на поверхности). Таким образом, на большой глубине море спокойно в любую погоду.

Взаимодействуя друг с другом, волны складываются, увеличивая или уменьшая свою амплитуду. При этом образуются группы волн, скорость распространения которых вдвое меньше скорости одиночной волны. Мореплаватели давно заметили эту закономерность, называя максимум результирующей волны «девятым валом».

Подходя к берегу, волны постепенно меняют свою форму и скорость бега. Они становятся более высокими с крутым, почти отвесным, передним склоном. Скорость их перемещения так же как и скорость групповая, теперь не зависит от длины волны и оказывается пропорциональной глубине воды  $H$ , т. е.:

$$C = \sqrt{gH} \approx 3,13\sqrt{H}$$

Фронт прибрежных волн всегда - располагается перпендикулярно к берегу. Это происходит потому, что благодаря влиянию мелководья ближняя к берегу часть волны начинает ее догонять, в результате чего волна разворачивается фронтом к берегу. По мере уменьшения глубины воды энергия волнового движения не может исчезнуть. Волна становится все более крутой, а затем с шумом опрокидывается.

В реальных морских условиях качка судна, так же как и волнение, представляют собой нерегулярный, лишенный видимой закономерности процесс. Тем не менее в этих условиях подмечена интересная закономер-

ность поведения судна, состоящая в том, что периоды крупных нерегулярных колебаний оказываются близкими к периоду собственных колебаний судна:

$$\tau_0 = C \frac{B}{\sqrt{h}}$$

где  $C$  — инерционный коэффициент, изменяющийся в сравнительно узких пределах (0,76-0,85);  $B$  - ширина судна;  $h$  - начальная метацентрическая высота.

Приведенная формула указывает на обратную связь между периодом качки и метацентрической высотой. Чем больше величина  $h$ , тем меньше период качки. И, наоборот, большим периодам соответствуют малые значения начальной метацентрической высоты.

Зная период качки, легко найти начальную метацентрическую высоту:

$$h = C^2 B^2 / \tau_0^2.$$

Влияние устойчивости на качку судна не ограничивается связью между периодом качки и начальной метацентрической высотой. Есть еще важная особенность проявления этого влияния, заключающаяся в том, что возмущающий момент от волнения, воздействующий на судно, зависит от величины  $h$ . Чем выше  $h$ , тем в большей степени судно подвержено бортовой качке на волнении. Это позволило Н. Е. Жуковскому высказать образное сравнение, что метацентрическая высота есть тот рычаг, за который волна раскачивает судно.

При эксплуатации судна надо всегда избегать резкой качки. Это достигается рациональным выбором скорости судна и курсового угла, т. е. угла между направлением бега волн и диаметральной плоскостью судна. Важное значение для снижения интенсивности качки судна на волнении имеет применение специальных успокоителей качки (боковых килей, успокоительных цистерн, бортовых, управляемых рулей и т. д.).

## 5.5 Ходкость судна

*Ходкостью* называют мореходное качество, заключающееся в способности судна перемещаться с заданной скоростью при эффективном использовании мощности энергетической установки. Для выполнения требований ходкости необходимо правильно выбрать обводы судна, обеспечив наименьшее сопротивление и оптимальные условия работы двигателя.

Знакомясь с элементами статики судна, мы имели дело с двумя равными и противоположно направленными силами: силой тяжести и силой поддержания. При изучении ходкости, как одного из важнейших мореходных качеств, характеризующих динамику судна, также рассматривают

две равные и противоположно направленные силы - сопротивление воды и тягу гребных винтов. В отличие от ранее рассмотренных, эти силы действуют горизонтально и имеют гидродинамическую природу.

Поскольку судно движется на границе двух сред – воды и воздуха, то каждая среда оказывает этому движению *сопротивление*. То есть

$$R = R_w + R_a,$$

где  $R$  – *полное сопротивление* движению,  $R_w$  – *сопротивление воды*,  $R_a$  – *сопротивление воздуха*.

Сопротивление воздуха зависит от скорости судна относительно воздуха и от *площади лобового сопротивления*, которая равна площади проекции надводной части судна на плоскость мидель-шпангоута (рис. 47).

$$R_a = \xi_c \frac{\gamma_c v^2}{2} \omega_{лс}$$

где  $\xi_c = 0,8 - 0,9$  – коэффициент воздушного сопротивления,  $\gamma_c = 1,225 \cdot 10^{-3} \text{ т/м}^3$  – удельный вес воздуха,  $\omega_{лс}$  – площадь лобового сопротивления,  $\text{м}^2$ ,  $v$  – скорость судна,  $\text{м/с}$ .

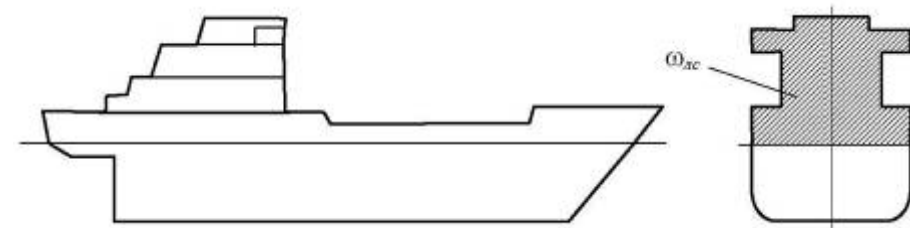


Рисунок 47 - К определению площади лобового сопротивления

Обычно скорость судна выражают в *узлах* – милях в час. Одна морская миля – это 1,852 км. Тогда

$$v = \frac{1852}{3600} v_s = 0,514 v_s$$

Сопротивлением воды движению судна называют равнодействующую гидродинамических давлений и касательных напряжений трения воды о корпус на направление движения. Величина силы сопротивления зависит от размеров и формы корпуса судна, состояния обшивки, скорости и режима движения.

$$R_w = \xi_w \frac{\gamma_w v^2}{2} \Omega$$

где  $\xi_w$  – коэффициент водного сопротивления,  $\gamma_w$  – удельный вес воды,  $\Omega$  – *площадь смоченной поверхности* судна,  $\text{м}^2$ .



Площадь смоченной поверхности определяют по теоретическому чертежу, например, с помощью метода трапеций. Кроме этого можно использовать приближительные формулы, типа формулы Мумфорда.

$$\Omega = L \cdot (1,7T + \delta B).$$

Сопротивление воды состоит из *сопротивления трения, сопротивления формы, сопротивления шероховатости и волнового сопротивления.*

$$R_с = R_{тр} + R_{\phi} + R_{ш} + R_{волн}.$$

Рассмотрим каждую составляющую отдельно.

Сопротивление трения ( $R_{тр}$ ) зависит от трех параметров, площади смоченной поверхности, длины судна и его скорости. Форма поверхности не играет никакой роли. Поэтому сопротивление трения судна эквивалентно сопротивлению абсолютно гладкой ( $\zeta_{ш} = 0$ ), плоской ( $\zeta_{\phi} = 0$ ) пластины (рис. 48 а), с площадью  $\Omega$  и длиной  $L$ , движущейся со скоростью  $v$  в бесконечном потоке жидкости ( $\zeta_{волн} = 0$ ). Сопротивление трения обусловлено тем, что вода обладает вязкостью, и частицы воды, непосредственно прилегающие к обшивке судна, прилипают к ней и движутся вместе с судном. Слой воды прилипающий к этим частицам движется уже со скоростью меньшей, чем скорость судна. Следующий слой еще медленнее и на каком-то расстоянии от корпуса частицы воды остаются в покое. Слой, в котором наблюдаются возмущение частиц воды, называется *пограничным слоем*, его ширина растет от носа к корме. Трение между частицами воды в пограничном слое и является сопротивлением трения.

Если от плоской поверхности перейти к рассмотрению реальной поверхности судна, имеющей определенную кривизну, то можно предположить, что пограничный слой будет искажен так же, как была искажена пластина. То есть в каждом сечении толщина пограничного слоя останется неизменной, но граница слоя будет не прямой линией, а какой-то плавной кривой, соответствующей кривизне обводов корпуса (рис. 48 б). Затраты энергии на искажение пограничного слоя будут определять сопротивление формы –  $R_{\phi}$ .

При обтекании гладкой пластины частицы воды движутся параллельно поверхности, *линии тока* – прямые (рис. 48 в). Такое течение частиц жидкости в пограничном слое называется *ламинарным*. Реальная поверхность корпуса судна всегда имеет какую-то шероховатость (дефекты окраски, царапины, сварные швы и т.п.) поэтому при обтекании такой поверхности водой будут образовываться завихрения (рис. 48 г). Течение в данном случае будет *турбулентным*. На образование вихрей в пограничном слое будет затрачиваться часть энергии, что и определяет сопротивление шероховатости –  $R_{ш}$ .

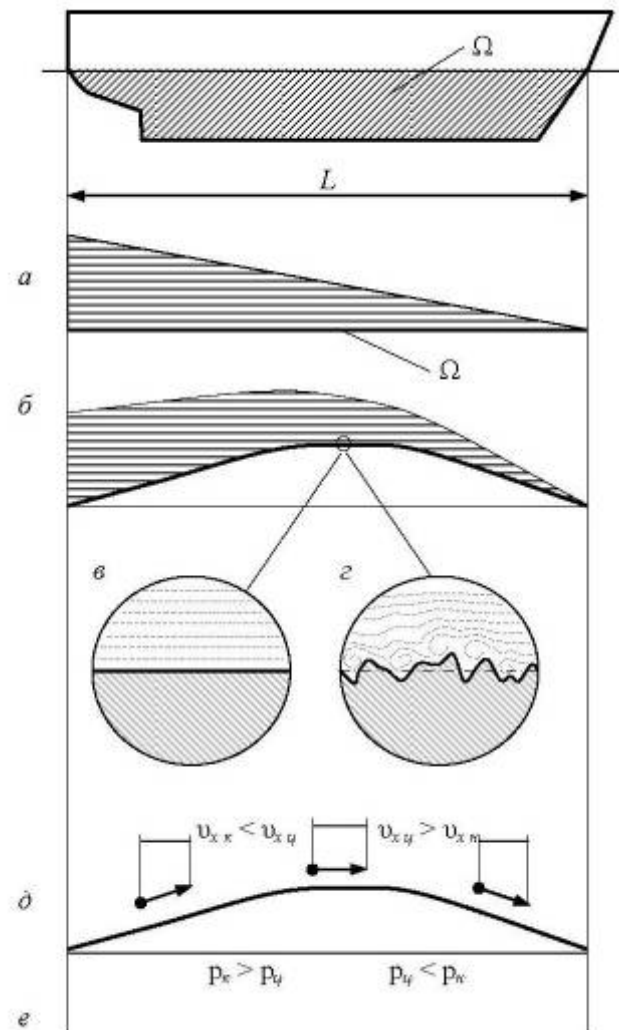


Рисунок 48 – Составляющие сопротивления воды.

Если принять, что средняя скорость частиц воды в пограничном слое постоянная и рассмотреть проекции векторов скоростей на ось  $x$ , то можно сделать вывод что в средней части судна величина проекции скорости на ось  $x$  больше, чем в оконечностях (рис. 48 д). по закону Бернулли скорость жидкости в потоке обратнопропорциональна давлению. Следовательно, давление в носу и корме больше, чем в средней части судна. Вода из области повышенного давления (носовая и кормовая оконечно-

сти) будет уходить в области, где давление меньше – в среднюю часть и за нос и корму. В результате этого ватерлиния из прямой преобразуется в волнистую линию (рис. 48 е), с вершиной посередине и впадинами в оконечностях. Таким образом, при движении будет образовываться волна, двигающаяся вместе с судном. На ее образование будет расходоваться часть энергии, что и будет определять волновое сопротивление –  $R_{волн}$ .

Поскольку средняя скорость частиц воды в пограничном слое, за счет уменьшения скорости к внешней границе слоя, несколько меньше скорости судна, то судно будет обгонять волну на величину  $\Delta v = v_c - v_{nc}$ . В результате вершина волны будет смещаться от середины длины судна в корму (рис. 48 ж).

#### Определение составляющих сопротивления

Основной способ определения сопротивления воды движению судна – это проведение испытаний. Испытывают либо *натурное* судно, либо его *модель*. Проведение испытаний натурального судна всегда связано с рядом неудобств (отсутствие ветра, течения, постоянная скорость и т.д.), поэтому чаще всего прибегают к модельным испытаниям. Суть испытаний модели заключается в том, что модель буксируют в *опытовом бассейне* с определенной скоростью, измеряют его сопротивление, которое затем пересчитывают на натурное судно. Хотя фактически между составляющими полного сопротивления и существует взаимодействие, при расчетах считают, что они независимы.

Так как для сопротивления трения не имеет никакого значения форма судна, то для его определения вместо модели судна можно испытывать пластину. Одним из условий проведения таких испытаний является равенство *чисел Рейнольдса* судна и эквивалентной ему пластины ( $Re_c = Re_{пл}$ ). Число Рейнольдса является безразмерной характеристикой скорости движения, определяемой по формуле

$$Re = \frac{vL}{\nu},$$

где  $v$  – скорость судна или эквивалентной пластины,  $L$  – длина судна или пластины,  $\nu = 1,56 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  – коэффициент кинематической вязкости воды. Поскольку длина судна заведомо больше длины пластины, скорость буксировки последней должна быть больше.

$$\frac{v_c L_c}{\nu} = \frac{v_{пл} L_{пл}}{\nu} \Rightarrow v_{пл} = v_c \frac{L_c}{L_{пл}}.$$

Если отношение длин пластины и судна принять за масштаб  $\lambda$ , то формула преобразуется к виду  $v_{пл} = v_c / \lambda$ .

По результатам испытаний пластин были выведены формулы для расчета коэффициента сопротивления трения, типа формулы Прандтля-Шлихтинга.

$$\xi_{мп} = \frac{0,455}{(\lg Re)^{2,58}}.$$

Для определения сопротивления формы и волнового сопротивления необходимо, чтобы модель судна имела бы ту же самую форму, что и натурное судно. Суммарное значение сопротивления формы и сопротивления трения называется *остаточным сопротивлением*. Для его определения по результатам испытания модели необходимо, чтобы выполнялось условие равенства *чисел Фруда* ( $Fr_c = Fr_m$ ). Число Фруда, так же, как и число Рейнольдса является безразмерной характеристикой скорости.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения. В данном случае скорость модели должна быть меньше скорости судна, поскольку отношение длин модели и судна обратнопропорциональны отношению их скоростей.

$$\frac{v_m}{\sqrt{gL_m}} = \frac{v_c}{\sqrt{gL_c}} \Rightarrow v_m = v_c \sqrt{\frac{L_m}{L_c}} = \sqrt{\lambda} v_c.$$

где  $\lambda$  – масштаб модели.

Поскольку по критерию Рейнольдса скорость модели должна быть выше скорости судна, то можно сделать вывод о невозможности пересчета с модели на натурное судно значения полного сопротивления.

Если предположить, что поверхность модели абсолютно гладкая, то полное сопротивление воды модели ( $R_e$ ) состоит из сопротивлений трения ( $R_{мп}$ ), и остаточного ( $R_{oc}$ ). В результате испытаний модели можно получить значение  $R_e$ . Величину  $R_{мп}$  модели можно определить по приведенной выше формуле. Тогда, если от величины  $R_e$  отнять сопротивление трения, то остаток даст нам значение остаточного сопротивления модели.

$$R_{oc} = R_e - R_{мп}.$$

Вычислив по полученному значению  $R_{oc}$  коэффициент остаточного сопротивления  $\xi_{oc}$ , можно вычислить остаточное сопротивление натурального судна.

Сопротивление шероховатости, как уже говорилось ранее, зависит от состояния наружной обшивки. Коэффициент сопротивления шероховатости принимают обычно равным  $\xi_{ш} = (0,5 - 0,7) \cdot 10^{-3}$ .

Таким образом суммарный коэффициент сопротивления воды

$$\xi_e = \xi_{мп} + \xi_{ш} + \xi_{oc}.$$

Мы рассмотрели схему образования и структуру силы сопротивле-

ния водоизмещающих судов. Совершенно иная картина наблюдается у судов с динамическими принципами поддержания (глиссирующих катеров, судов на подводных крыльях и воздушной подушке). Движение таких судов связано с возникновением значительных гидро- и аэродинамических сил, уравнивающих силу тяжести судна. Если у водоизмещающих судов условие плавучести записывают как  $D = \rho g V$ , то здесь  $D = R_o$  и  $\rho g V = 0$ .

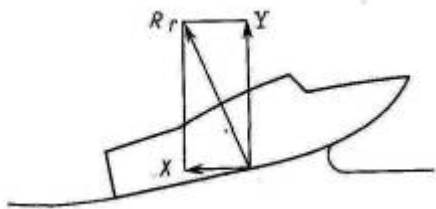


Рисунок 49 - Гидродинамические силы, действующие на днище глиссирующего катера

Сила поддержания при глиссировании (рис.49) является вертикальной составляющей гидродинамической силы  $R_r$ , возникающей на днище катера, как у крыла, расположенного под углом атаки  $\alpha$  к набегающему потоку:  $R_o = R_r \cos \alpha = Y$ .

Аналогичная ситуация имеет место и у судна на подводных крыльях, только в этом случае под  $R_o$  следует понимать суммарную подъемную силу носового и кормового крыльев. В отличие от крыла самолета площадь подводных крыльев сравнительно невелика. Действительно, плотность воды в 800 раз больше плотности воздуха, и для создания одной и той же подъемной силы, площадь подводных крыльев оказывается в 800 раз меньше площади крыла самолета.

Подводную часть корпуса водоизмещающего судна также можно рассматривать как крыло сложной формы, однако величина силы  $R_o$  по сравнению с архимедовой силой  $\rho g V$  для таких судов ничтожно мала.

Принципы образования силы  $R_o$  у судов на воздушной подушке совершенно иные, чем при глиссировании и движении на подводных крыльях. Мы ранее познакомились с этими судами и разделили их на суда со статической и динамической воздушной подушкой (экранопланы). Формирование воздушной подушки в этих случаях объясняется различными физическими закономерностями. Статическая воздушная подушка создается в результате нагнетания воздуха под днище аппарата. Образующаяся при этом сила давления  $R_o$  уравнивает силу тяжести  $D$ . Эффект образования динамической воздушной подушки связан с интересной особенностью крыла менять свои аэродинамические характеристики при движе-

нии вблизи экрана. Мы часто наблюдаем птиц, летящих у самой поверхности воды, над гладью озер и рек, вдоль дорог. Птицы любят летать над экраном (жидким или твердым) и пользуются этим для экономии сил. Оказывается, гидродинамическое качество крыла - отношение подъемной силы к силе лобового сопротивления - по мере приближения крыла к экрану резко возрастает. Этот эффект проявляется тогда, когда расстояние между крылом и экраном меньше, чем хорда крыла. Наличие динамической воздушной подушки под крылом экраноплана приводит к возникновению значительной силы  $R_o$  уравнивающей силу тяжести  $D$ .

Вернемся теперь к рассмотрению силы сопротивления судов с динамическими принципами поддержания. В режиме глиссирования вдоль днища действуют силы трения. Кроме того, на величину силы сопротивления оказывает влияние проекция силы тяжести  $D \sin \alpha$ , поскольку катер движется с углом атаки  $\alpha$ . Сумма этих сил и определяет основную долю сопротивления, к которой следует добавить воздушное сопротивление, создаваемое при обтекании надводной части глиссера потоком воздуха. У судов на подводных крыльях сила сопротивления складывается из гидродинамической и аэродинамической составляющих. Гидродинамическое сопротивление включает в себя сопротивление крыльев и выступающих частей (крепление крыльев и движителя).

Существует принципиальное различие кривых сопротивления водоизмещающего судна и судна на подводных крыльях (рис.50). У водоизмещающего судна с ростом скорости сопротивление сначала монотонно увеличивается, а затем растет катастрофически (рис.50, а). При малых скоростях оно пропорционально квадрату, а затем кубу скорости, а при больших скоростях может быть пропорционально пятой, девятой и даже более высоким степеням скорости. Это означает, что для увеличения скорости хотя бы на один узел в диапазоне реального изменения сопротивления необходимо увеличивать мощность энергетической установки вдвое, а иногда и в несколько раз.

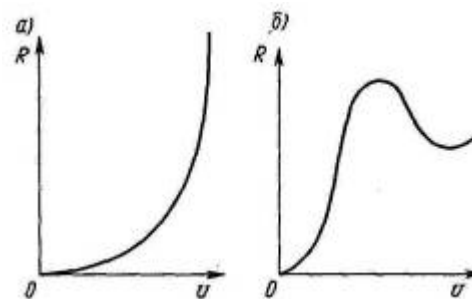


Рисунок 50 - Изменение силы сопротивления в зависимости от скорости судна: а - водоизмещающее судно; б — судно на подводных крыльях

У судов на подводных крыльях начальный участок кривой  $R = f(v)$  напоминает кривую водоизмещающего судна, однако при высоких скоростях картина совершенно меняется: достигнув некоторого максимума, кривая устремляется вниз и имеет минимум, соответствующий оптимальной скорости (рис.50, б). Максимум кривой связан с выходом судна на носовое крыло, далее корпус отрывается от воды и судно выходит на рабочий режим, при котором сопротивление становится минимальным.

Рассмотренная кривая характерна и для судов на статической воздушной подушке, составляющими сопротивления которых являются гидродинамическое  $R_1$ , аэродинамическое  $R_2$  и импульсное  $R_3$  при движении над жидким экраном и сумма  $R_2 + R_3$  при движении над твердым экраном. Импульсное сопротивление обусловлено захватом массы воздуха вентилятором, создающим воздушную подушку, и сообщением этой массе некоторой скорости движения (у экранопланов эта составляющая отсутствует).

#### Определение мощности главных двигателей

Мощность, которую необходимо приложить к судну, чтобы оно двигалось с заданной скоростью или буксировочная мощность  $N_о$ , кВт определяется по формуле

$$N_о = Rv \cdot 10^{-3}.$$

где  $R$  – полное сопротивление,  $H$ ,  $v$  – скорость судна, м/с.

Поскольку движение судна обычно осуществляется за счет подвода энергии от двигателя к движителю, то неизбежны ее потери при передаче. Поэтому мощность вырабатываемая двигателями или *эффективная мощность*  $N$  должна быть больше.

$$N = \frac{N_о}{\eta_{np}}$$

где  $\eta_{np}$  – *пропульсивный коэффициент*, являющийся показателем потерь мощности при ее передаче.

Определим возможные потери энергии. Рассмотрим схему передачи энергии от двигателя к движителю (рис. 51 а).

Во-первых, потери будут обусловлены *коэффициентом полезного действия движителя*  $\eta_о$ . Для гребных винтов в среднем  $\eta_о = 0,65 - 0,75$ .

Во-вторых, потери энергии будут обусловлены ухудшением условий работы гребного винта. Наибольшим КПД гребной винт будет обладать в том случае, когда набегающий поток воды перпендикулярен диску винта и имеет скорость, равную скорости судна (рис. 51 б). Это реализуется в случае достаточно большого удаления винта от корпуса судна. В

большинстве же случаев гребной винт находится в непосредственной близости от корпуса, поэтому поток воды набегающий на него отклоняется от перпендикуляра. Кроме того, поскольку вода в пограничном слое движется вместе с судном, скорость набегающего потока на винт снижается (рис. 51 в). Эти два обстоятельства учитывает *коэффициент влияния корпуса*  $\eta_к$ , изменяющийся в пределах 0,95 – 1,20.

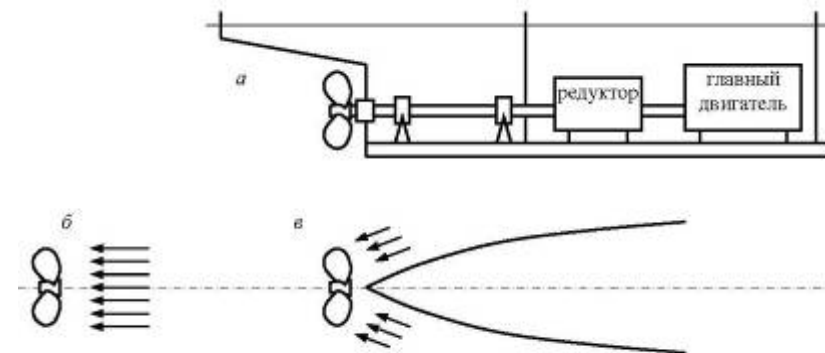


Рисунок 51 - К определению пропульсивного коэффициента

В-третьих, энергия будет затрачиваться при преобразовании энергии. Скорость вращения винта редко превосходит значение 200 об/мин. Скорости вращения двигателей достигают нескольких тысяч об/мин. Следовательно необходимо каким-то образом уменьшить частоту вращения. На преобразование энергии затрачивается часть вырабатываемой мощности, которая учитывается *КПД передачи*  $\eta_n$  равным: для редукторов  $\eta_n = 0,94 - 0,98$ , для электропередачи  $\eta_n = 0,89 - 0,92$ .

В-четвертых, потери возможны в подшипниках – опорах гребного вала и в уплотнении в месте прохода вала через корпус судна – *дейдвудной трубе*. Эти потери, напрямую зависят от числа опор, которое в свою очередь зависит от длины гребного вала. *КПД валопровода*  $\eta_в = 0,97 - 0,99$ .

Таким образом, общий пропульсивный коэффициент

$$\eta_{np} = \eta_о \cdot \eta_к \cdot \eta_n \cdot \eta_в.$$

Поскольку за время эксплуатации мощность двигателя может снижаться, за счет износа деталей, мощность двигателя устанавливаемого на судно несколько превышает эффективную. Это обстоятельство учитывает *коэффициент запаса мощности*  $k$ , значение которого изменяется в пределах 1,1 – 1,2. Тогда

$$N_0 = kN.$$

Для приближенного определения мощности, может быть использована *адмиралтейская формула*.

$$N = \frac{D^{2/3} v_s^3}{C}.$$

где  $D$  – водоизмещение судна,  $v_s$  – скорость судна выраженная в узлах,  $C$  – *адмиралтейский коэффициент*, устанавливаемый по прототипу.

## 5.6 Судовые движители.

Для преодоления силы сопротивления на судне устанавливают движители. *Движителем* называют такое судовое устройство, которое, используя работу двигателя, создает в воде *упор* – силу способную двигать судно в заданном направлении. Наибольшее применение на морских судах находят гребные винты и водометные движители. Они относятся к гидравлическим движителям, действие которых основано на отбрасывании в сторону, противоположную движению, захватываемых масс воды.

*Гребной винт* состоит из ступицы и лопастей (рис.52, а). Лопасти закрепляют на ступице либо неподвижно (винт фиксированного шага), либо обеспечивают их поворот на различные углы (винт регулируемого шага). Винты фиксированного шага изготовляют в виде цельных отливок, а иногда - со съемными лопастями. Винт регулируемого шага имеет пустотелую ступицу, в гнездах которой закрепляются лопасти, управляемые от механизма изменения шага (рис 52, б). Винты фиксированного шага широко используются на различных типах морских судов; винты регулируемого шага - на буксирах, траулерах и других судах, плавающих в переменных внешних условиях (буксировка, свободный ход). Для передачи большой мощности используют многовальные установки и соосные гребные винты противоположного вращения (рис. 52, в, д). Винты в насадке (кольцевое крыло) позволяют получить дополнительный упор (рис. 52, з).

Основными геометрическими характеристиками гребного винта являются диаметр, шаг винта и шаговое отношение, площадь лопастей, площадь диска и дисковое отношение. Диаметр винта  $D$  соответствует диаметру окружности, проведенной через наиболее удаленные от оси вращения точки лопасти винта. Шаг винта  $H$  представляет собой шаг винтовой поверхности, описываемой лопастью винта. Если бы гребной винт перемещался как винт в твердой гайке, то шаг можно было измерить как расстояние, пройденное за один полный оборот. Шаговое отношение  $H/D$  вычисляют как отношение шага винта к его диаметру. Площадь лопастей  $A$  включает площадь спрямленной (развернутой на плоскость) поверхности всех лопастей винта. Площадь диска винта  $A_d$  характеризуют площа-

дью, образуемого при вращении винта и вычисляют как площадь окружности  $A_d = \pi D^2/4$ . Дисковое отношение представляет собой отношение площади лопастей к площади диска винта  $\rho = A/A_d$ .

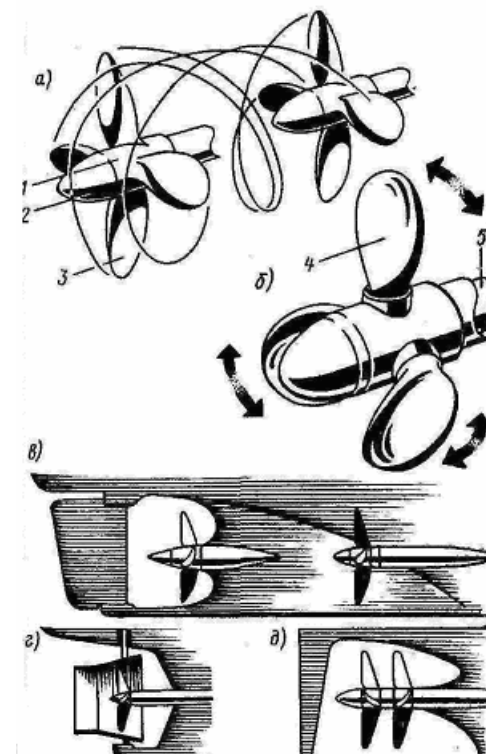


Рисунок 52 - Гребные винты.

а - винт фиксированного шага; б - винт регулируемого шага; в - трехвальная установка; г - винт в насадке; д - соосные гребные винты противоположного вращения. 1 - ступица; 2 - обтекатель; 3 - лопасть; 4 -поворотная лопасть; 5 – привод.

Размеры ступицы у винтов фиксированного шага сравнительно невелики, так что отношение диаметра ступицы к диаметру винта составляет 0,2. У винтов регулируемого шага ступица больше поскольку в ней расположен механизм изменения шага.

Число лопастей гребного винта у обычных морских судов составляет 3 - 4. У быстроходных судов может быть 5 - 6 лопастей и более. Сечение лопасти имеет форму крыла. Сторону лопасти, обращенную к направлению движения (в носовую часть судна), называют засасывающей, а про-

тивоположную, по которой образуется винтовая поверхность, - нагнетательной. Шаговое отношение изменяется в пределах 0,6 - 2,0, а дисковое отношение - от 0,3 до 1,2.

Одно из неприятных явлений, связанное с работой гребных винтов, состоит в *кавитации*, т. е. нарушении сплошности потока воды из-за вскипания ее при нормальной температуре. Впервые с явлением кавитации судостроители столкнулись при создании быстроходных судов. Механизм кавитации можно объяснить следующим образом. При вращении винта по мере увеличения частоты вращения на засасывающей (выпуклой) стороне лопасти давление понижается до значений, при которых вода превращается в пар. Вытесняя воду, пар постепенно начинает занимать определенный объем. В эту область из вытесненной жидкости устремляются пузырьки, заполненные парами воды, воздуха и газа. Вследствие быстрой конденсации эти частицы приобретают большую скорость и с огромной силой ударяются о поверхность лопасти. Такая бомбардировка происходит непрерывно, в результате поверхность лопасти разрушается. Рассмотренное явление называют кавитационной эрозией.

При дальнейшем увеличении частоты вращения гребного винта зона кавитации расширяется и давление в ней падает. Конденсация пара происходит за пределами лопасти, кавитационная эрозия прекращается, но работа винта резко ухудшается: винт как бы проскальзывает в «воздушном мешке». При этом теряется упор, уменьшаются КПД и значения гидродинамических характеристик.

Для борьбы с кавитацией элементы гребных винтов выбирают таким образом, чтобы избежать кавитации. Если это не удастся, то применяют двухвальные и многовальные установки. Иногда, наоборот, стремятся не избегать кавитации, а бороться с ней путем интенсификации процесса, используя режим суперкавитации.

Поскольку первая стадия кавитации разрушает металл винта, а вторая ухудшает КПД, для быстроходных судов используют винты, приспособленные для работы в режиме суперкавитации. Такие винты имеют острую входящую в воду кромку и вогнутую нагнетательную и имеют на 15—20 % больший КПД. Суперкавитирующие винты развивают до 3000 об/мин, что позволяет использовать прямую передачу, облегчает и упрощает энергетическую установку.

Для повышения эффективности гребных винтов используют различные устройства, позволяющие уменьшить потери мощности за счет специального направляющего аппарата (обтекаемый руль, выполненный в виде контрвинта, направляющая насадка, грушевидная наделка на переруля, тоннельная корма на мелкосидящих судах и др.).

*Водометный движитель* (рис.53) относится к реактивным движите-

лям и представляет собой канал переменного сечения, внутри которого расположен насос, забирающий воду под днищем и выбрасывающий ее через сопло в кормовой части судна. Согласно третьему закону Ньютона сила, с которой отбрасывается масса протекающей воды, равна по величине противоположно направленной реакции - тяге водометного движителя. Для образования тяги необходимо, чтобы масса отбрасываемой воды получала ускорение. Это достигается путем засасывания воды при скорости судна и отбрасывании ее со значительно большей скоростью.

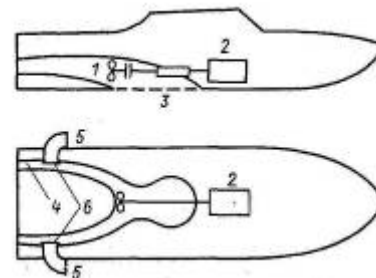


Рисунок 53 - Водометный движитель. 1 - насос; 2 - двигатель; 3 - решетка; 4 - кормовое сопло; 5 - заборные патрубки; 6 - заслонки.

Для выяснения особенностей работы водометного движителя вернемся еще раз к рассмотренной ранее формуле для КПД идеального движителя. Из формулы следует, что величина  $\eta_0$  возрастает при уменьшении отношения  $\omega/v$ , которое всегда больше единицы. Эффект можно достичь двумя путями: уменьшением скорости реактивной струи  $\omega$  и одновременным увеличением количества протекающей жидкости или за счет резкого увеличения скорости  $v$ . В течение долгого времени использовался первый путь, при котором возрастала масса движительного комплекса, а КПД продолжал оставаться на уровне 30%. И только после перехода к скоростям 40- 50 м/с, которые ранее казались фантастическими, водометный движитель не только стал конкурировать с гребным винтом, но и значительно превзошел его по эффективности. Аналогичная картина имела место и в авиации, когда при скоростях до 600-700 км/ч применяли воздушные винты, а при дальнейшем увеличении скорости они были вытеснены реактивными двигателями.

## 5.7 Управляемость судна.

С понятием ходкости тесно связано еще одно качество судна — его *управляемость*, под которой подразумевают способность судна удерживать или изменять направление движения. Управляемость связана с обеспечением двух противоречивых требований: поворотливости и устойчи-

ности на курсе. Первое требование предполагает хорошую маневренность судна, второе - сохранять направление движения. Таким образом, обеспечение управляемости достигается решением компромиссной задачи, в результате чего принимаются меры, позволяющие сочетать хорошую поворотливость судна с достаточной устойчивостью на курсе.

Хорошая управляемость судна сокращает продолжительность рейса, расход топлива, облегчает работу рулевого. Для обеспечения необходимых показателей управляемости необходимо учитывать следующие факторы:

- отношение длины судна к его ширине (увеличение  $L/B$  улучшает устойчивость на курсе и ухудшает поворотливость).
- форма проекции подводной части на ДП (подрезы в носовой и кормовой части улучшают поворотливость).
- площадь пера руля (чем больше площадь пера, тем, до определенных пределов, лучше поворотливость и устойчивость на курсе).
- скорость хода (на большей скорости судно лучше слушается руля).
- количество и расположение движителей (одновинтовое судно обладает худшей устойчивостью на курсе, поскольку оно всегда уклоняется в сторону вращения винта. Двухвинтовое судно идет прямо, поскольку винты вращаются в противоположные стороны. При работе одного винта на передний, а другого на задний ход, судно разворачивается практически на месте).
- взаимное расположение рулей и винтов (руль расположенный непосредственно за винтом, действует более эффективно, чем руль расположенный между винтами).
- внешние силы (ветер, волнение, течение и т.д.) влияющие на управляемость.

### Принцип действия руля

Поворот судна и удержание его на курсе осуществляют с помощью рулевого устройства. Пусть у судна, идущего со скоростью  $v$ , руль площадью  $F$  переложен на угол  $\alpha$  (рис.54).

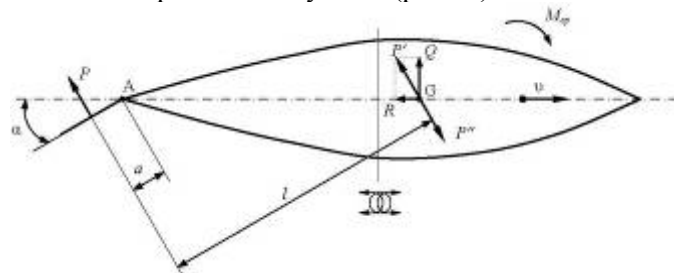


Рисунок 54 - Принцип действия руля.

Будем считать, что равнодействующая гидродинамического давления  $P$  приложена на расстоянии  $a$  от оси вращения руля. Приложим в ЦТ судна две силы  $P'$  и  $P''$ , параллельные и равные по значению  $P$ . Силы  $P$  и  $P''$  образуют пару сил, момент которой  $M_{вр}$  будет поворачивать судно. Величина момента будет определяться по формуле

$$M_{вр} = Pl,$$

где  $l$  – плечо пары. Из рис. 1 видно, что это плечо составляет

$$l = \left(\frac{L}{2} + x_g\right) \cos \beta + a.$$

Равнодействующую давления можно определить по формуле Жоссея

$$P = \frac{kx^2 F \sin \beta}{a/b},$$

где  $F$  – площадь пера руля,  $k$  – практический коэффициент принимаемый для рулей, расположенных непосредственно за винтом равным 10,6 и для рулей находящихся между винтами 5,95.

Плечо  $a$  для плоских рулей можно определить по формуле

$$a = (0,2 + 0,3 \sin \alpha) b.$$

Для обтекаемых рулей значение плеча  $a$  несколько меньше, за счет того, что точка приложения равнодействующей смещена к оси вращения (рис.55).

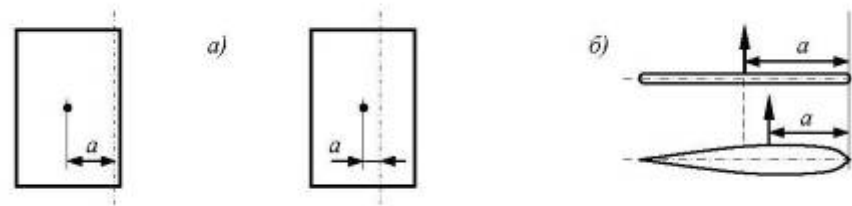


Рисунок 55 - Изменение плеча у балансирных (а) и обтекаемых (б) рулей

От величины плеча  $a$  зависит значение момента, который должна создать рулевая машина для поворота руля.

$$M_p = Pa = kbv^2 F \sin \alpha.$$

Для уменьшения значения момента  $M_p$  ось вращения руля иногда смещают от носовой кромки пера руля к середине (рис.55).

Силу  $P'$  можно разложить на составляющие

$$R = P'_x = P \sin \alpha,$$

$$Q = P'_y = P \cos \alpha.$$

Сила  $R$ , действующая противоположно направлению движения будет уменьшать скорость хода, а сила  $Q$ , действующая перпендикулярно ДП, вызовет крен и дрейф – отклонение судна от первоначального направления движения в сторону противоположную направлению поворота.

Оптимальным диапазоном углов перекладки руля являются значения  $30 - 35^\circ$ . При перекладке руля на угол более  $35^\circ$  эффективность действия руля резко снижается, поскольку составляющая  $R$  принимает большие значения, что приводит к значительному уменьшению скорости, а следовательно, и к уменьшению вращающего момента  $M_{вр}$ . Поэтому рулевые устройства снабжаются ограничителями, не позволяющими перекладывать руль на угол больший  $35^\circ$ .

### Циркуляция

Если переложить руль на некоторый угол, то судно будет описывать в горизонтальной плоскости криволинейную траекторию, называемую циркуляцией. *Циркуляцией* называется кривая, описываемая центром тяжести судна при повороте (рис. 56). Движение судна по циркуляции можно разделить на три периода:

- *маневренный (AB)* период продолжается от начала до окончания перекладки руля;
- *эволюционный (BC)* период продолжается от момента окончания перекладки руля до начала движения судна по окружности;
- *установившийся (CE)* период продолжается до тех пор, пока руль находится в переложенном положении.

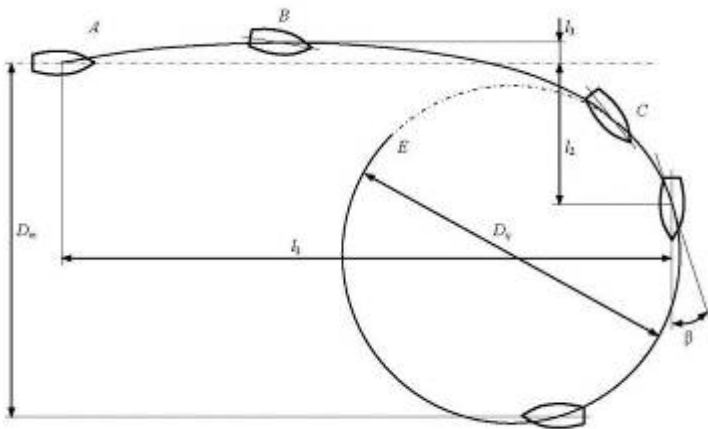


Рисунок 56 - Циркуляция судна

Для характеристики циркуляции используются следующие величины:

- диаметр установившейся циркуляции  $D_u$ . Эта величина, обычно, измеряется относительно длины судна и составляет  $(3 - 5)L$ .
- тактический диаметр циркуляции  $D_m$ , равный расстоянию между ДП судна в начале поворота и ее положением после изменения первоначального курса на  $180^\circ$ . Для различных судов  $D_m = (0,9 - 1,2) D_u$ .
- выдвиг  $l_1$  – смещение ЦТ судна в направлении первоначального курса от точки начала циркуляции до точки соответствующей изменению курса на  $90^\circ$ . В среднем составляет  $l_1 = (0,6 - 1,2) D_u$ .
- прямое смещение  $l_2$  – расстояние от линии первоначального курса судна до точки, с которой совпадает ЦТ судна в момент изменения курса на  $90^\circ$ . Средние значения лежат в пределах  $l_2 = (0,5 - 0,6) D_u$ .
- обратное смещение  $l_3$  – расстояние от линии первоначального курса судна до параллельной ей касательной к траектории судна в начальные периоды циркуляции, то есть смещение ЦТ судна в сторону, обратную направлению поворота. Средние значения невелики и лежат в пределах  $l_3 = (0 - 0,1) D_u$ .
- угол дрейфа – угол между ДП судна и касательной, проходящей через ЦТ судна, к циркуляции. Обычно лежит в пределах  $10 - 15^\circ$ .
- период циркуляции  $T_u$  – время необходимое для совершения поворота на  $360^\circ$ .

$$T_u = \frac{\rho D_u}{x}$$

Таким образом, при перекладке руля в начальные периоды циркуляции появляется угол дрейфа и уменьшается скорость хода, а при установившемся движении судно движется с постоянной скоростью и углом дрейфа. Поскольку сила  $Q$  приложена в ЦТ судна, а сила бокового сопротивления приблизительно посередине осадки, то есть ниже силы  $Q$ , то образуется кренящий момент, который обусловит появление крена. Наибольшее значение угла крена можно определить по формуле Фирсова.

$$\Theta_{max} = 1,4 \frac{x_0^2}{hL} \left( z_g - \frac{T}{2} \right).$$

где  $v_0$  – начальная скорость судна,  $h$  – поперечная метацентрическая высота.

Если известен диаметр циркуляции  $D_u$ , то угол крена может быть определен по формуле

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{2x_0^2 \left( z_g - \frac{T}{2} \right)}{ghD_u}.$$



Понятие об устойчивости судна на курсе довольно сложное. В приближенной трактовке устойчивость можно рассматривать как способность судна после воздействия внешнего возмущения сохранить заданный курс или самостоятельно устанавливаться на новый курс. При потере устойчивости движения (неустойчивое на курсе судно) угол курса будет непрерывно возрастать и судно при прямо поставленном руле будет описывать циркуляцию большого радиуса. Обычно неустойчивыми оказываются суда, имеющие большие коэффициенты общей полноты, а так же мелкосидящие суда с большими отношениями ширины к осадке, большой парусностью и сильно подрезанной кормой.

## 6 ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО И АРХИТЕКТУРА СУДОВ

### 6.1 Архитектурно-конструктивные типы судов. Судовые помещения.

*Архитектурный тип* судна характеризуют особенности его внешнего вида и подразделений корпуса, в том числе расположение надстроек или рубок на верхней палубе судна, форма его оконечностей, положение машинного отделения, количество переборок, трюмов, люков, число палуб, наличие или отсутствие второго дна. Для примера архитектурный тип сухогрузного судна (рис.57, а) может быть определен следующими характеристиками: трехостровное размещение надстроек (бак 13, средняя надстройка 6 и ют 1), рубки от 2-го яруса и выше, нос с наклонным форштевнем, крейсерская корма, срединное расположение машинного отделения 19, шесть водонепроницаемых переборок; судно четырехтрюмное, двухпалубное, со вторым дном по всей длине судна.

Возможны разнообразные варианты компоновки надстроек, например средняя надстройка, объединенная с ютом, образует удлиненный ют, а относительно короткое пространство между баком и средней надстройкой в этом случае можно назвать колодцем. При отсутствии надстроек судно будет называться гладкопалубным. Иногда для выравнивания грузоподъемности в кормовой части судна (потерянной из-за туннеля гребного вала 20) верхняя палуба за средней надстройкой может быть приподнята на высоту меньшую, чем высота надстройки. Тогда образуется так называемый кварталдек, а тип судна будет характеризоваться как кварталдечный.

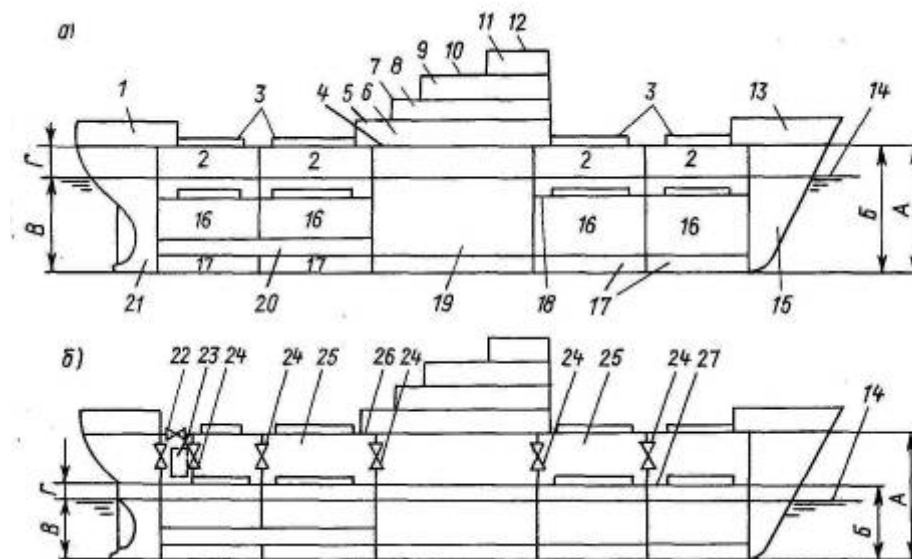


Рисунок 57 - Основные палубы, помещения и вертикальные размеры полнонаборного сухогрузного (а) и аналогичного по размерам шельтердечного (б) судов  
 А — полная высота борта; Б — расчетная высота борта; В — расчетная осадка; Г — расчетная высота надводного борта.

1 — ют; 2 — грузовые твиндеки; 3 — грузовые люки; 4 — верхняя палуба; 5 — палуба надстройки; 6 — средняя надстройка; 7 — шлюпочная палуба; 8, 9 — рубки 2-го и 3-го яруса; 10 — нижний мостик; 11 — ходовая рубка; 12 — верхний мостик; 13 — бак; 14 — расчетная ватерлиния; 15 — форпик; 16 — грузовые трюмы; 17 — двойное дно; 18 — нижняя палуба; 19 — машинное отделение; 20 — туннель гребного вала; 21 — ахтерпик; 22 — обмерный лючок на палубе; 23 — помещение обмерного колодца и бортовых обмерных вырезов; 24 — вырезы в поперечных междупалубных переборках; 25 — открытое грузовое пространство; 26 — навесная палуба (шельтердечная); 27 — главная палуба или палуба переборок (на рис.57, б палубы и помещения, одинаковые с рис.57, а не обозначены)

Варианты форм носа и кормы рассматривались в п. 4. У современных грузовых судов преобладает кормовое расположение машинного отделения (см. рис. 58), относительно редко встречается промежуточное (обычно такое, что между машинным отделением и ахтерпиком размещается один трюм).

Под конструктивным типом обычно подразумевают характеристику судна в отношении подкрепляющего корпуса набора (в первую очередь - размеров профилей шпангоутов). Это зависит от положения палубы рас-

четного надводного борта по отношению к ватерлинии 14 (см. рис.57). При меньшей осадке меньше расчетные гидростатические нагрузки на бортовые и палубные конструкции, поэтому подкрепляющий набор получается облегченным. Соответственно различают полнонаборный тип (рис. 42, а) и облегченный (шельтердечный) тип (рис.57, б). Шельтердеком называется навесная палуба 26, до которой не доходят прочные водонепроницаемые переборки, при этом главная палуба 27 (палуба расчетного надводного борта) лежит ниже верхней навесной (рис.57, б).

Для того чтобы шельтердечное судно, имеющее меньшую осадку, а значит, и меньшую грузоподъемность по сравнению с полнонаборным судном, могло получить некоторые льготы по портовым сборам, должны выполняться конкретные требования конструктивного оформления судна. В частности, в междупалубных переборках должны быть специальные вырезы 24 (см. рис. 57, б), не имеющие стационарных водонепроницаемых закрытий, а в кормовой части открытого грузового пространства 25 необходимы бортовые вырезы и обмерный лючок в палубе 22.

Как видно из рис.57, а безопасный и фактический надводный борт у полнонаборного судна одинаковы по величине, поэтому полнонаборные суда называют также судами с минимальным надводным бортом. У шельтердечного судна фактический надводный борт (до верхней навесной палубы) значительно больше, чем расчетный надводный борт. Поэтому шельтердечные суда - с избыточным надводным бортом и предназначены для перевозки относительно легких грузов, требующих большой кубатуры помещений для размещения груза.

Особенностью архитектурно-конструктивной компоновки судов для наливных грузов (танкеров) является кормовое положение машинного отделения 13, наличие одной палубы 7 и грузовых насосных отделений 10 (рис.58). Если насосные отделения расположены иным образом, чем на рис.58, или отсутствуют, то с носа и кормы район грузовых танков 11 ограничивается специальными помещениями — коффердамами. Коффердамы предназначены для сбора (и последующего удаления системой вентиляции) фильтрующихся из танков летучих нефтепродуктов, образующих с воздухом взрывоопасную смесь. Для танкера, изображенного на рис.58, архитектурно-конструктивный тип может быть охарактеризован следующим образом: судно однопалубное, с минимальным надводным бортом, имеющее двух-островное размещение надстроек, рубки от 2-го яруса и выше, нос с наклонным форштевнем и бульбом, крейсерскую корму, кормовое расположение машинного отделения судна, девять водонепроницаемых переборок, с переходным мостиком, со вторым дном только в районе машинного отделения.

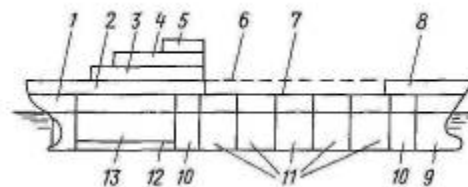


Рисунок 58 - Архитектурно-конструктивная компоновка танкера

1 - актерпик; 2 - удлиненный ют; 3,4 - рубка 2-го и 3-го яруса; 5 - ходовая рубка; 6 - переходной мостик; 7 - верхняя палуба; 8 - бак; 9 - форпик; 10 - насосные отделения; 11 - грузовые танки; 12 - настил второго дна; 13 - машинное отделение.

На рис. 59 представлена архитектурно-конструктивная компоновка промышленного судна - морозильно-рыболовного траулера. По архитектурно-конструктивному типу этот траулер может быть определен как двухпалубное судно с избыточным надводным бортом, двухостровным размещением надстроек, рубками от 2-го до 4-го яруса, с наклонным форштевнем, с крейсерско-транцевой кормой и слипом, с 8 водонепроницаемыми переборками, со срединным расположением машинного отделения и с двойным дном. Траулер характеризуется значительно большим разнообразием корпусных помещений по их назначению по сравнению с танкером и сухогрузным судном.

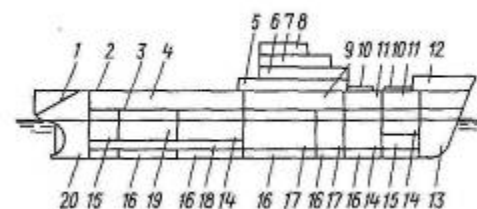


Рисунок 59 - Архитектурно-конструктивная компоновка морозильно-рыболовного траулера

1 - слип для подъема трала; 2,3 - верхняя и нижняя палубы; 4 - рыбофабрика; 5 - средняя надстройка; 6,7 - рубки 2-го и 3-го яруса; 8 - ходовая и промысловая рубка; 9 - жилой твиндек; 10 - грузовые люки; 11 - грузовые твиндеки; 12 - бак; 13 - форпик; 14 - грузовые трюмы; 15 - цистерны; 16 - двойное дно; 17 - машинные отделения; 18-туннель гребного вала; 19- помещение для выработки рыбной муки аз отходов рыбы; 20 - актерпик.

Судовые помещения по назначению можно разделить на специализированные, служебные и на помещения экипажа. Специализированные предназначены для выполнения судном его основных задач - транспорт-

ных, промысловых, научно-исследовательских, ремонтных и других.

На судах, изображенных на рис.57 - 59, к специализированным помещениям будут относиться грузовые трюмы, твиндеки, танки, помещения рыбофабрики и рыбомучной установки.

В других случаях в специализированные помещения войдут пассажирские каюты и салоны, научные лаборатории, мастерские и др.

*Служебные помещения* требуются для эксплуатации любого судна в качестве движущегося плавучего сооружения.

К служебным помещениям относятся ходовая рубка, машинные, котельные, рефрижераторные и насосные отделения, электростанции, помещения вспомогательных механизмов и общесудовых устройств, туннель гребного вала, коффердамы, цистерны, кладовые и др.

*Помещения экипажа* обеспечивают комфортабельные условия для моряков, они подразделяются на жилые каюты, общественные помещения (кают-компания, салоны, столовая, спорткаюты), санитарно-гигиенические, медицинские и хозяйственно-бытовые (камбуз, провизионные кладовые, цистерны пресной воды, прачечная, сушильная и др.).

Судовые помещения оборудуются необходимой мебелью, светильниками, системами вентиляции и отопления, а значительная часть кают - индивидуальными санузлами.

## **6.2 Внешний облик судна. Художественное проектирование в судостроении.**

Внешний облик судов создается судовыми архитекторами, работающими совместно с инженерами-кораблестроителями, авторами технических проектных решений.

В англоязычных странах инженера-кораблестроителя до сих пор называют «корабельным архитектором», а проектирование судов - «корабельным искусством». Эти термины сохранились с далеких времен, когда судостроение действительно было искусством. Секреты и навыки этого искусства передавались мастерами-корабелями по наследству. Одним из таких секретов были теоретические чертежи судов. Владение их лучшими образцами обеспечивало создание быстроходных и мореходных судов.

История судостроения насчитывает более 5000 лет, а главный судостроительный закон был открыт Архимедом в 3 в. до нашей эры. Практическое применение закона плавучести для судостроительных расчетов относится уже к 17 в. Именно тогда судостроение стало превращаться из искусства в науку. В развитие теории и практики судостроительной науки выдающийся вклад внесли отечественные ученые, в их числе: Л. Эйлер, М. М. Окунев, А. А. Попов, С. О. Макаров, Д. И. Менделеев, Н. Е. Жуковский, А. Н. Крылов, И. Г. Бубнов, К. П. Боклевский, В. Л. Позднин.

В 17-19 вв. корабельная архитектура включала в себя все разделы практики и теории судостроения. Позднее из нее выделились теория мореходных качеств судов, проектирования судов, строительная механика, теория судовой энергетики и другие современные судостроительные науки и соответствующие им учебные предметы. По традиции корабельной архитектурой даже 20— 30 лет назад называли науку о конструктивном устройстве судна. Сейчас термин «корабельная архитектура» следует считать собирательным по отношению к вопросам общей компоновки, формы, и принципиального устройства судов, расположения их помещений и наиболее важных конструкций, размещения основного оборудования. В более узком понимании существует термин «архитектура судна», которому в учебном плане судостроительных вузов соответствует предмет «художественное проектирование судов», посвященный учету художественных и психофизиологических факторов при проектировании судов.

*Архитектура судов* в качестве научной дисциплины включает в себя:

- теорию разработки внешнего вида и цветового решения судна главным образом в отношении динамики и выразительности силуэта;
- теорию рационального размещения (планировки, компоновки) помещений судна с позиций достижения стиливого и функционального единства, удобства использования, создания безопасных путей эвакуации при авариях, достижения общей оптимальности в организации потоков людей на внутренних коммуникациях;
- рекомендации по разработке внутреннего оборудования (интерьера) отдельных помещений, их отделки, окраски, размещения светильников, вентиляционного оборудования и мебели.

Решение проблем архитектурного проектирования судов опирается на методы и рекомендации художественной композиции, технической эстетики, цветоведения, светотехники, а также эргономики. *Эргономика* занимается согласованием возможностей человека с параметрами технических объектов (судна в целом и составляющих его комплексов оборудования) и, соответственно, включает в себя антропометрию (изучение размерных параметров человека), инженерную физиологию (создание благоприятных для работоспособности человека параметров технической среды) и инженерную психологию (изучение и обеспечение оптимального взаимодействия органов чувств человека - зрения, слуха, осязания, вестибулярного аппарата - с органами управления и приборными комплексами технических объектов).

Архитектура конкретного судна должна быть такой, чтобы внутреннее пространство соответствовало своему назначению, а внешние формы создавали выразительный облик, отвечающий требованиям техни-

ческой эстетики и особенностям данной группы судов.

В целом архитектурные особенности судов определяются формой надводной части носа, характером седловатости, размерами бака, общей крутизной или ступенчатостью палубной линии, протяженностью незанятого надстройками носового участка палубы. Для обеспечения незаливаемости требуется высокий бак, большая седловатость способствует более благоприятным условиям обеспечения непотопляемости, поэтому носовая оконечность, достаточно развитая вверх, а также вперед, символизирует по ассоциации идею мореходного судна.

Кормовая оконечность играет в архитектуре судна более скромную роль, что и должно подчеркиваться при правильном архитектурном проектировании меньшими размерами и простотой форм надводной части кормы. У большинства грузовых судов в кормовой части находится жилая надстройка, нежелательно излишнее развитие ее верхних ярусов в сторону юта. В то же время полная высота кормовой надстройки тем больше, чем длиннее судно (рис.60). Это связано с необходимостью обеспечения хорошего обзора из рулевой рубки при условии, чтобы зона невидимости перед форштевнем по курсу судна была возможно меньше. Рекомендуется, чтобы эта «мертвая зона» не превышала по протяженности длину судна.



Рисунок 60 - Грузовое судно

Различия в количестве, размерах и формах надстроек, рубок, мачт,

труб создают своеобразный силуэт судов разных типов. У грузовых судов относительно небольшие по длине надстройки почти всегда смещены в корму, архитектурный облик сравнительно статичен, характерный акцент создается грузовыми устройствами. Важнейшими акцентами внешнего облика судов космической службы являются антенны радиолокационных станций (часто в сферических защитных колпаках). Развитые антенные устройства и приборные комплексы научно-исследовательских судов космической службы придают их силуэту характерный вид (рис.61).



Рисунок 61 - Судно обеспечения космических исследований

Пассажирские суда имеют крупные многоярусные надстройки (рис.62). Варьирование общей формы этих надстроек, их конструктивной детализации, акцентов в расположении труб, мачт, спасательных устройств позволяют формировать разнообразные силуэты пассажирских лайнеров. Надстройки играют также большую роль в архитектуре ледоколов, крупных плавучих рыбозаводов, экспедиционных научно-исследовательских (рис. 63), учебно-производственных судов. Своеобразный облик имеют промышленные суда и многие буксиры, у которых надстройки смещены в носовую часть судна, создавая напряженный динамический силуэт, созвучный высоким тяговым возможностям этих судов (рис.64).



Рисунок 62 - Пассажирский лайнер



Рисунок 64- Рыболовный траулер



Рисунок 63 – Научно-исследовательское судно



Рисунок 65 - Судно на подводных крыльях

Ответственной задачей является архитектурное проектирование скоростных судов - глиссирующих, судов на воздушной подушке и на подводных крыльях (рис. 65 и 66). В их силуэте дополнительными элемен-

тами часто выступают воздушные стабилизаторы и рули, а также выходящие из воды части корпуса, стоек, крыльев, гибких ограждений. Нередко применяются воздушные винты или турбореактивные двигатели. Характерным акцентом при зрительном восприятии этих судов является заметный подъем носа и брызговая пелена за кормой. Гармоничное сочетание всех этих особенностей позволяет получить динамичное архитектурное решение.



Рисунок 66 - Судно на воздушной подушке

### 6.3 Прочность судов. Материалы и системы набора корпуса.

Под прочностью судна понимают способность воспринимать воздействие внешних нагрузок без разрушения и больших изменений формы конструкции. Все действующие во время эксплуатации нагрузки разделяют на статические и динамические. К статическим относят нагрузки, приложение которых носит плавный характер, такие как сила тяжести от корпуса с оборудованием, механизмов, груза, давление воды. Динамическими (внезапными) считают инерционные нагрузки при качке, воздействие волн, удары при швартовке. Для того чтобы выдержать эти нагрузки, судно должно обладать достаточными прочностью и жесткостью, т. е. способностью воспринимать нагрузки без разрушения и возникновения остаточных деформаций. Проверка прочности включает в себя определе-

ние сил и моментов, действующих на корпус и отдельные конструкции, оценку возникающих при этом напряжений и сопоставление их с допустимыми значениями.

Прежде чем дать общее представление о прочности, познакомимся с некоторыми понятиями, связанными с изучением и оценкой этого важного качества судна. Если к какой-либо конструкции приложить внешнюю нагрузку, то под ее воздействием возникает напряженное состояние, характеризующееся нормальными и касательными напряжениями. Нормальные напряжения появляются от действия растягивающих или сжимающих усилий и направлены перпендикулярно к рассматриваемой площади поперечного сечения. Касательные напряжения обусловлены наличием сил, действующих параллельно плоскости сечения и стремящихся сместить отдельные сечения друг относительно друга.

Восприятие конструкцией внешней нагрузки не ограничивается возникновением напряженного состояния. В этих условиях она испытывает различные деформации. Если конструкция жесткая, то деформации будут малы. При недостаточной жесткости могут возникать значительные деформации, возможно даже появление остаточных деформаций, приводящих к изменению формы конструкции.

При одной и той же площади поперечного сечения возможно возникновение больших и малых деформаций. Все зависит от того, как расположена конструкция относительно действующих усилий. Возьмите, например, металлическую линейку для вычерчивания теоретического чертежа и попытайтесь ее изогнуть в плоскости полотна. Вам это не удастся. Зато линейка легко без особых усилий изгибается в направлении, перпендикулярном к этой плоскости.

Величина возникающих напряжений различна в отдельных деталях конструкций. В зависимости от конфигурации конструкции возможно возникновение концентрации напряжений, что при многократном восприятии нагрузок ведет к появлению трещин и потере прочности. Участки возможной концентрации напряжений выявляют и устраняют или учитывают дополнительное подкрепление еще в процессе проектирования конструкции.

Нормальная работа конструкции происходит в условиях упругих деформаций, характеризующихся тем, что при снятии нагрузки форма конструкции принимает исходное состояние. Для выполнения этого требования производят расчеты прочности, в процессе которых определяют действующие напряжения и сравнивают их с допустимыми значениями, принимаемыми с учетом некоторого запаса, именуемого *запасом прочности*. Запас прочности компенсирует неточности расчета и возможное превышение действительных эксплуатационных нагрузок по сравнению с

принятыми в расчетах.

При проектировании судна стремятся выбрать такие конструктивные решения, чтобы создаваемые конструкции были легкими и прочными. Это достигается рациональным распределением металла в поперечных сечениях отдельных конструкций и корпуса в целом.

При плавании в реальных морских условиях корпус судна испытывает деформации растяжения, сжатия и кручения. Наиболее опасным для обычных морских судов является общий продольный изгиб, вызывающий значительные напряжения в палубе и днище.

На рис. 67 показаны характерные положения судна на волнении, при которых возникают опасные изгибающие и скручивающие моменты. При положении на вершине волны (рис.67, а) средняя часть судна глубоко погружена в воду и сила поддержания больше силы тяжести. Оконечности судна, наоборот, оказываются оголенными. В этих районах действуют лишь небольшие силы поддержания и преобладают силы тяжести. В результате возникает деформация корпуса, называемая *перегибом*, при которой палуба оказывается растянутой, а днище сжатым.

Если судно находится на подошве волны, то наблюдается обратная картина (рис.67,б). Оконечности судна здесь глубоко погружены в воду, а средняя часть оголена. Силы поддержания преобладают над силами тяжести только в оконечностях. Это приводит к деформации корпуса, называемой *изгибом*. Палуба судна оказывается сжатой, а днище растянутым.

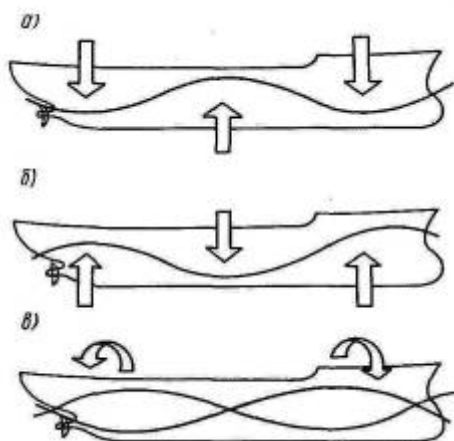


Рисунок 67 - Нагрузка на судно в условиях волнения: а - судно на вершине волны; б - судно на подошве волны; в - судно на косом волнении

При положении судна под углом к набегающим волнам (на косом

волнении) возникает сложная картина (рис.67, в). Профиль волны по бортам оказывается различным, что вызывает асимметричное распределение сил поддержания и появление значительных скручивающих моментов, создающих в судовых конструкциях напряжения сдвига. В наибольшей степени таким деформациям подвержены крупные морские суда с широкими люками и контейнеровозы, имеющие большое «раскрытие» палуб.

Наряду с рассмотренными силами корпус судна на волнении воспринимает нагрузку от качки, обусловленную действием инерционных и гидродинамических сил. Особенно велики эти силы в носовой оконечности при килевой качке. У судов с малой осадкой возможны удары корпуса о воду (слеминг). Возникновение слеминга отмечается прежде всего в балластном рейсе и приводит к появлению значительных динамических нагрузок на судах, особенно с плоским днищем.

Расчеты, связанные с оценкой общей прочности при продольном изгибе ведут сначала для положения судна на тихой воде. Нагрузку на тихой воде определяют как разность ординат *кривых сил тяжести и сил поддержания* (рис.68). При построении этих кривых предполагается, что в пределах теоретической шпации сила тяжести от всех составляющих нагрузки в данном сечении корпуса судна распределена равномерно, а сила поддержания согласно закону Архимеда находится как произведение плотности воды на ускорение свободного падения и объем рассматриваемого отсека, т. е.  $pg\Delta V$ . График сил тяжести  $P$  представляет собой ступенчатую кривую, а сил поддержания - плавную кривую, проведенную как огибающую через концы отрезков, характеризующих величины погруженных площадей шпангоутов, умноженных на  $pg$ , т. е.  $pg\omega$ . Кривая сил поддержания также приводится к ступенчатому виду.

Разность ординат указанных кривых  $q = P - pg\omega$  представляет собой интенсивность *нагрузки* в пределах заданного сечения. Зная  $q$ , можно рассчитать действующие в этих условиях силу  $N_0$  и момент  $M_0$ , которые в расчетах прочности называют *перерезывающей силой* и *изгибающим моментом*. Если бы для всех отсеков оказалось  $q = 0$ , то при положении на тихой воде судно не испытывало бы общего продольного изгиба.

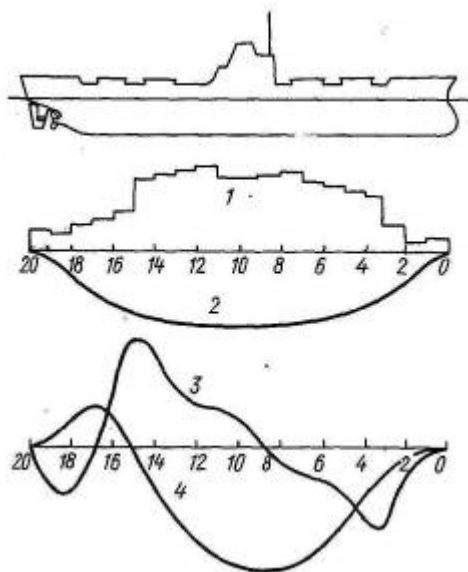


Рисунок 68 - Эпюры нагрузки 1, 2, перерезывающих сил 3 и изгибающих моментов 4 на тихой воде; 1 - сила тяжести; 2 - сила поддержания

На волнении возникают дополнительные нагрузки за счет перераспределения сил поддержания и появления инерционных и гидродинамических сил при качке. Основная часть этой нагрузки обусловлена положением ватерлинии и изменением формы погруженного объема. Наибольшие величины дополнительной перерезывающей силы  $\Delta N$  и изгибающего момента  $\Delta M$  возникают при длине волны близкой к длине судна для положений на вершине и подошве волны.

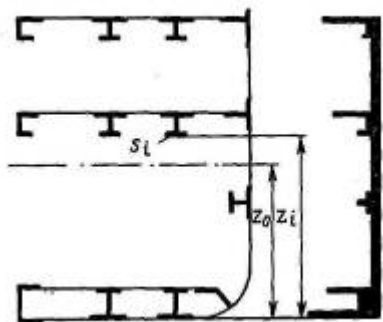


Рисунок 69 - Эквивалентный брус

Результирующие значения действующих усилий определяют как алгебраическую сумму нагрузок на тихой воде и на волнении:

$$N = N_0 + \Delta N, \quad M = M_0 + \Delta M.$$

Под воздействием момента  $M$  происходит изгиб корпуса и в продольных связях возникают продольные *нормальные напряжения*. Для оценки величины этих напряжений в первом приближении производят расчет *эквивалентного бруса* (рис.69), т. е. такой условной балки, площадь которой составляет сумму площадей всех продольных связей, участвующих в общем изгибе, с учетом протяженности связи, наличия в ней вырезов и т. д. Пластины палубы, борта и днища, за исключением поясков, примыкающих к продольным связям, при определенных условиях учитывают не полностью путем введения множителей меньшей единицы, называемых *редукционными коэффициентами*.

Назначив связи эквивалентного бруса, можно рассчитать его момент инерции  $J$ , определив предварительно собственные и переносные моменты инерции всех составляющих его продольных связей относительно переносной оси.

Собственные моменты инерции стандартных профилей поперечных сечений судовых конструкций (угольник, углубульб, тавр и т. д.) принимают по специальным таблицам. Нестандартные профили разбивают на простые элементы, имеющие вид прямоугольника, собственный момент инерции которого находят по формуле  $i_{x0} = bh^3/2$ , где  $b$  и  $h$ — ширина и высота элемента.

Переносные моменты инерции определяют как произведение площади каждого элемента  $S_i$  на квадрат расстояния от ЦТ этой площади до нейтральной оси. В качестве нейтральной оси рассматривают горизонтальную линию, параллельную переносной оси, относительно которой ведется отсчет аппликат  $z_i$  - до ЦТ рассматриваемого элемента (см. рис.69).

Положение нейтральной оси вычисляют по формуле

$$z_0 = \frac{\sum S_i z_i}{\sum S_i}$$

Таким образом, полный момент инерции эквивалентного бруса будет равен:

$$J = \sum J_0 + \sum S_0 (z_i - z_0)^2$$

Разделив величину  $J$  на отстояние наиболее удаленных от нейтральной оси связей палубы и днища  $z_n$  и  $z_{dn}$ , устанавливают момент сопротивления

$$W_n = J/z_n, \quad W_{dn} = J/z_{dn}.$$

Для определения нормальных напряжений от продольного изгиба



достаточно разделить действующий в районе миделя изгибающий момент на моменты сопротивления палубы и днища

$$\sigma_n = M / W_n \quad \sigma_{дн} = M / W_{дн}$$

Величина  $M$  зависит от положения судна относительно профиля волны и достигает наибольших значений на вершине и подошве волны. Для этих условий и находятся соответствующие напряжения  $\sigma_n$  и  $\sigma_{дн}$ .

Приближенную оценку суммарного изгибающего момента выполняют по формуле

$$M = \frac{1}{K} DL,$$

где  $D$  — водоизмещение, кН;  $L$  — длина судна, м;  $K$  — коэффициент, составляющий 330—370 для крупных сухогрузных судов; 300-330 — для малых сухогрузных судов с машинным отделением в средней части и 240-280 с машинным отделением в корме; 370-420 для крупных и 320-380 для малых танкеров.

Наибольшие касательные напряжения при продольном изгибе возникают в сечениях, расположенных в районе четверти длины судна от оконечностей. Величину этих напряжений определяют по формуле

$$\tau = NS / Jt$$

где  $N$  — суммарная перерезывающая сила;  $S$  — статический момент относительно нейтральной оси площади сечения связей по одну сторону от точки, для которой вычисляются напряжения;  $t$  — суммарная толщина продольных связей на данном уровне.

Максимум нормальных напряжений отмечается в районе соединения палубы с бортом, а максимум касательных напряжений — в бортовой обшивке на нейтральной оси.

Помимо общей продольной прочности производят проверку *местной прочности* различных судовых конструкций: пластин, балок, рам и перекрытий. *Пластины* (наружная обшивка, настил палуб и двойного дна, обшивка переборок и надстроек) составляют по массе около 70 % корпуса, обеспечивают его непроницаемость и играют важную роль в улучшении общей прочности. Отдельные балки судового набора обычно соединены с пластинами и при их расчете в состав этой балки включают часть пластины в виде присоединенного пояска. *Рамы* состоят из балок набора, расположенных в одной плоскости и жестко соединенных между собой по концам. *Перекрытия* образуются системами пересекающихся взаимно перпендикулярных балок набора с присоединенными поясками обшивки или настилов, принадлежащих к одной из основных плоскостей судна: днищу, палубе, борту или переборке.

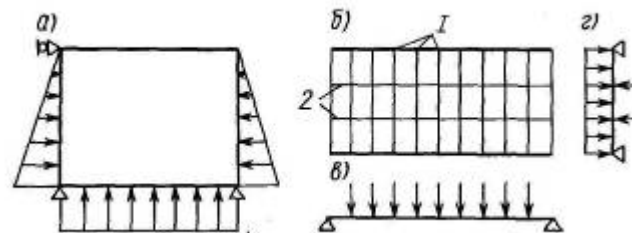


Рисунок 70 - Рама и перекрытие: а - схема нагрузки на раму; б - схема перекрытия; в, г - схема нагрузок на балки главного направления и перекрестные связи. 1 - балки главного направления; 2 - перекрестные связи

Схемы рассмотренных судовых конструкций приведены на рис.70. Нагрузки на эти конструкции рассматривают в виде различным образом распределенных и сосредоточенных сил. К распределенным нагрузкам относятся давление воды, силы тяжести грузов, механизмов, оборудования и т. д. Сосредоточенными считаются нагрузки от давления льда и других сил, приложение которых сконцентрировано на малой площади.

При проверке прочности корпуса действующие напряжения сравнивают с допускаемыми. Если величина действующих напряжений не превышает допускаемых, то считают, что прочность судна в данных условиях обеспечена.

Форма корпуса и его конструкционные материалы прошли долгий исторический путь. Сначала суда строились из дерева. Затем пришла эпоха стального судостроения, на первом этапе клепаного, а затем сварного. Корпус сварного судна стал приблизительно на 20 % легче клепаного благодаря устранению соединительных угольников, клепаных швов и стыков. Сварная обшивка имеет гладкую поверхность, которую легче защищать от коррозии и которая оказывает меньшее сопротивление движению. Применение сварки привело к совершенствованию технологии и сокращению сроков постройки судов.

Для изготовления деталей корпуса применяют сталь, стальное литье, дерево, легкие сплавы и пластмассы. Наибольшее распространение получила сталь (рис.71), которая хорошо обрабатывается и обладает достаточной вязкостью. Для крупнотоннажных сухогрузных судов и танкеров используют также стали повышенной прочности, применение которых дает максимальную экономию только при полном использовании ее прочностных качеств.

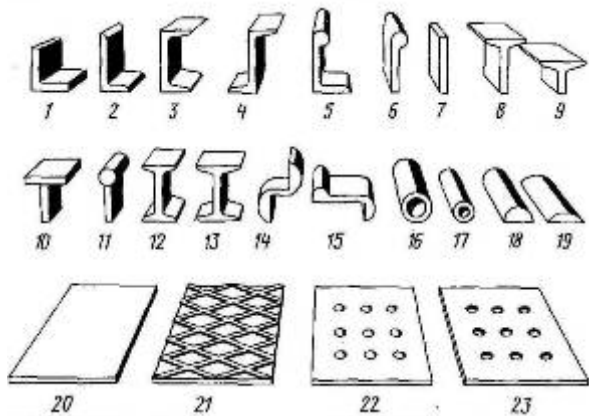


Рисунок 71 - Прокат для судостроения.

1 - равнобокий угольник; 2 - не равнобокий угольник; 3 - швеллер; 4 - зетовый профиль; 5 - углубульбовый профиль; 6 - полосульбовый профиль; 7 - полосовая сталь; 8 - тавровый профиль; 9 - низкий тавровый профиль; 10 - тавровый стальной профиль из полосовой стали; 11 - сварной профиль из угловой и полосовой стали; 12 - двутавровый профиль с высокой стенкой; 13 - двутавровый профиль с широкими полками; 14 - люковый профиль; 15 - профиль для лееров; 16 - трубчатый профиль; 17 - круглая сталь; 18 - полукруглая сталь; 19 - сегментная сталь; 20 - гладкий лист; 21 - рифленый лист; 22 - рельефный лист; 23 - гусеничный лист.

Литые детали корпуса (фор- и ахтерштевень, рулевые рамы, кронштейны гребных валов и др.) изготавливают из стального литья, в отдельных случаях используют чугун. Все большее значение благодаря малому весу и достаточно хорошей коррозионной стойкости приобретают легкие сплавы, используемые для изготовления надстроек, рубок и корпусов малых судов. Пластмассы используют для отделки помещений и изготовления отдельных деталей больших судов, а также строительства корпусов малых судов (промысловых, скоростных, спасательных шлюпок).

При постройке стационарных плавучих технических средств и сооружений находят применение железобетонные конструкции.

Корпус судна состоит из конструктивно связанных между собой *перекрытий*. В зависимости от расположения связей в перекрытиях различают поперечную, продольную, клетчатую, комбинированную и смешанную системы набора (рис. 72).

При *поперечной системе набора* главные связи (балки главного направления) проходят поперек судна и представляют собой часто расставленные балки набора, соединенные с небольшим числом продольных балок (перекрестными связями). В этом случае длинная сторона пластин

перекрытия, ограниченных набором, расположена поперек судна. При *продольной системе*, наоборот, балки главного направления проходят вдоль судна, а перекрестные связи — поперек и длинная сторона пластин ориентирована вдоль судна. Если же продольные и поперечные размеры пластин, ограниченных набором, соизмеримы, то систему набора называют *клетчатой*. *Комбинированная система* (академика Ю. А. Шиманского) сочетает особенности рассмотренных систем, причем палубу и днище набирают по продольной системе, а борта — по поперечной. При равной прочности продольная система набора требует меньших затрат материала, чем поперечная (когда главным является обеспечить устойчивость перекрытий). При комбинированной системе набора в одном перекрытии используется несколько разных систем. Например, в средней части днище набирается по продольной системе, а в оконечностях — по поперечной или клетчатой.

По поперечной системе набора строят в основном малые и средние суда, по продольной — крупные суда (танкеры, контейнеровозы, иногда угле- и рудовозы). Смешанную систему применяют на грузовых и пассажирских судах.

Наряду с рассматриваемыми системами набора в настоящее время находят применение и *безнаборная система*, осуществляемая в виде многослойных конструкций. Такую систему можно встретить на небольших пластмассовых судах, где в качестве заполнителя между слоями используют более легкие материалы.

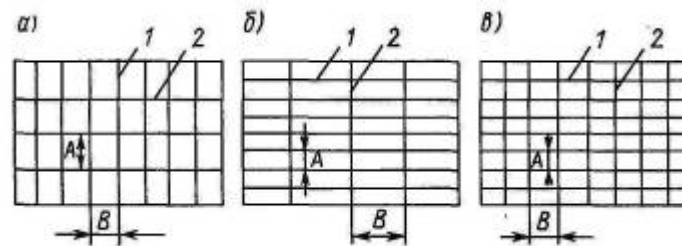


Рисунок 72 - Системы набора: а - поперечная, б - продольная, в - клетчатая. 1 - балки главного направления; 2 - перекрестные связи; А и В - поперечная и продольная шпации.

#### 6.4 Конструктивные элементы корпуса судна.

Корпус судна представляет собой коробчатую балку, образуемую листами наружной обшивки и палубным настилом, которые подкреплены набором, и постепенно переходящую в фор- и ахтерштевень. Нижний пояс этой балки образуют обшивка днища, включая скуловой пояс, на-

стил второго дна и все продольные связи, расположенные в этом районе. Верхний поясок состоит из непрерывной части палубного настила вместе с ширстрекком (верхняя часть листов бортовой обшивки) и непрерывными продольными связями. Указанные пояски воспринимают основную долю напряжений, возникающих при изгибе корпуса.

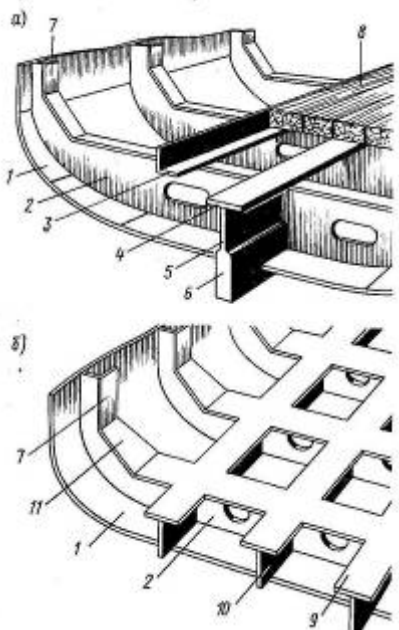


Рисунок 73 - Одинарное дно: а - средний кильсон; б - средний кильсон в виде сплошного среднего килевого листа. 1- наружная обшивка; 2- флор; 3 - стрингерный угольник; 4 - поясок кильсона; 5 - средний килевой лист; 6 - брусковый киль; 7 - шпангоут; 8 - деревянный настил; 9- средний кильсон; 10- боковой кильсон; 11 - скуловая кница

Внутренние подкрепления состоят из балок, расположенных вдоль и поперек судна и образующих продольный и поперечный набор, служащий для восприятия и передачи местных нагрузок, давления воды и грузов, обеспечивая устойчивость верхнего и нижнего поясков.

Корпус судна разделен палубами и водонепроницаемыми переборками на отдельные отсеки. Обшивка палуб, бортов, днища и переборок совместно с набором образуют отдельные перекрытия. Другими частями корпуса являются надстройки и рубки, фор- и ахтерштевень, туннель гребного вала, люки, шахты и т. д.

Днищевые перекрытия выполняют с одинарным и двойным дном (рис.73, 74). Конструктивные элементы одинарного дна, которое обычно

используют на небольших килеватых судах, включают *флоры*, *кильсоны* — *стрингеры* (средний и бортовые), устанавливаемые в зависимости от ширины судна, и *киль*. Флоры подкрепляют вертикальными ребрами жесткости и закрывают сверху деревянным настилом, а в районе машинного отделения — стальными рифлеными листами. Двойное дно напоминает коробчатую балку и характерно для больших судов. Помимо флоров и днищевых стрингеров его конструкция включает вертикальный киль, обшивку днища и настил второго водонепроницаемого дна. С помощью *книц* или бракет флоры соединяют со шпангоутами, образуя непрерывный поперечный набор. Двойное дно повышает прочность днища корпуса и препятствует проникновению воды внутрь судна при получении пробоины или посадке на мель и используется для топлива, смазочного масла и балластных цистерн. Доступ в двойное дно обеспечивается через специальные закрывающиеся *горловины*, расположенные в настиле в конце каждого отсека. Днищевые стрингеры и флоры в пределах каждого отсека имеют облегчающие вырезы — *лазы*.

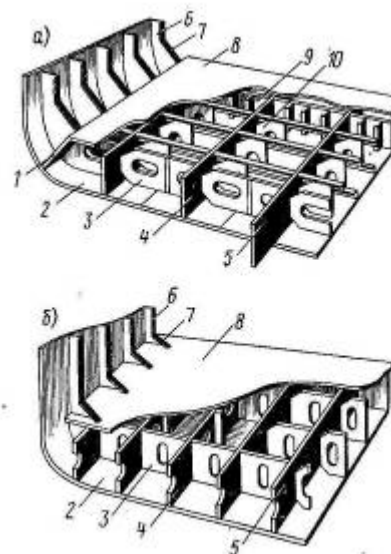


Рисунок 74 - Двойное дно: а — двойное дно со сплошными и бракетными флорами; б — двойное дно с днищевыми стрингерами. 1 — крайний междудонный лист; 2 — обшивка днища; 3 — сплошной флор; 4 — днищевый стрингер; 5 — вертикальный киль; 6—шпангоут; 7— скуловая кница; 8 — настил двойного дна; 9 — водонепроницаемый флор; 10— бракетки.

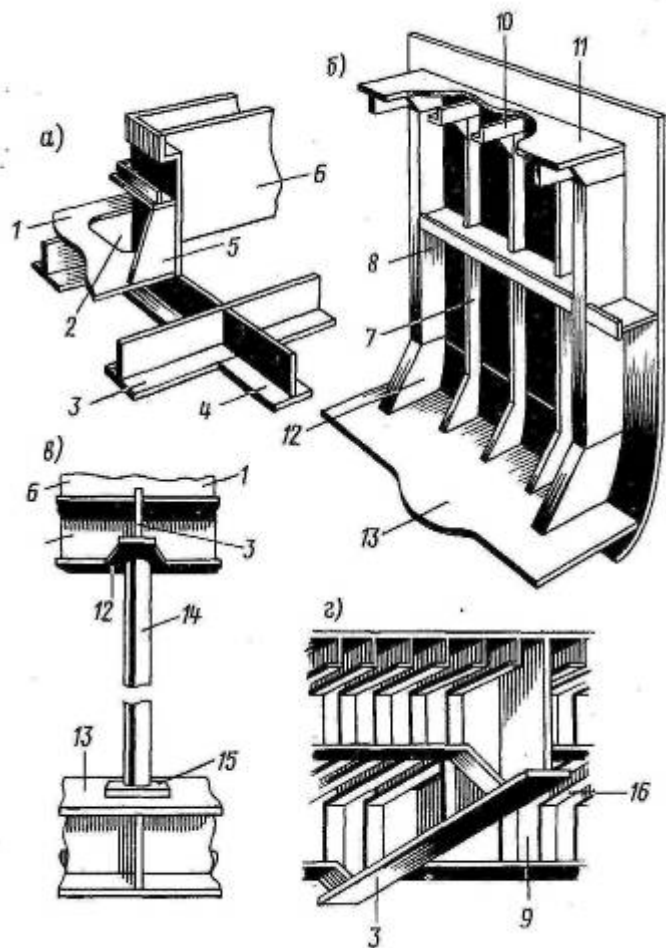


Рисунок 75 - Конструкция палубы и борта: а - палуба в районе грузового люка; б - борт, в - пиллерс; г - палуба, набранная по продольной системе набора. 1 - палубный настил; 2 - усиленный лист; 3 - карлингс; 4 - концевой бимс; 5 - контрфорс; 6 - продольный комингс люка; 7 - шпангоут; 8 - рамный шпангоут; 9 - рамный бимс; 10 - бимс; 11 - палубный стрингер; 12 - кницы; 13 - настил второго дна; 14 - пиллерс; 15 - накладной лист; 16 - продольная подпалубная балка.

Бортовые перекрытия образуются листами наружной обшивки и бортовым набором — шпангоутами и бортовыми стрингерами (рис.75). Наружная обшивка воспринимает давление воды и участвует в составе корпуса в обеспечении прочности судна. Поясья листов бортовой обшивки простираются вдоль корпуса судна от скулового пояса и до ширст-

река, имеющего большую толщину. Усиление наружной обшивки борта отмечается также в носовой оконечности и в районе концов надстроек, где возможна концентрация напряжений.

Шпангоуты, за исключением района оконечностей, располагают на равном расстоянии друг от друга и с помощью книц перевязывают с поперечными связями днища и палубы. В результате образуется жесткая шпангоутная рама, обеспечивающая поперечную прочность судна. В районе машинного отделения устанавливают рамные шпангоуты усиленного профиля и бортовые стрингеры. В корме и носу ледоколов шпангоуты располагают под различными углами к диаметральной плоскости и почти перпендикулярно к наружной обшивке. Шпангоуты в носовой и кормовой оконечностях подкрепляют бортовыми стрингерами.

Суда, плавающие во льдах, имеют усиленную наружную обшивку и бортовой набор в носовой оконечности, включая промежуточные шпангоуты. При высоких ледовых классах судов район ледовых подкреплений простирается по всей длине судна.

Палубные перекрытия (см. рис.75) состоят из настила палуб с продольным и поперечным набором. Рассматривают верхнюю водонепроницаемую палубу (главная палуба), промежуточные палубы и палубы надстроек. Поясья настила, прилегающие к ширстреку, называют палубными стрингерами. Они простираются вдоль судна и заканчиваются в оконечностях листами, расположенными поперек судна.

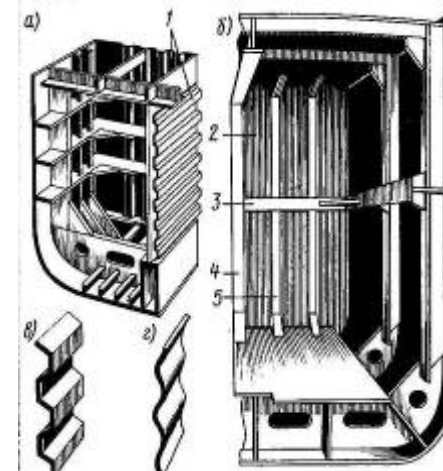


Рисунок 76 - Конструкции переборок: а — гофрированные переборки; б — плоская переборка; в - трапециевидные гофры; г - волнистые гофры. 1 - продольная и поперечная гофрированные переборки; 2 - полотно плоской переборки; 3 - шельф; 4 - рамная стойка; 5 - стойка.

Настил палуб с подкрепляющим набором должен безопасно воспринимать усилия от грузов, от вкатывающейся на палубу воды, от массы надстроек и различных палубных устройств. При продольной системе набора перекрытия усиливают *рамными бимсами* и опирающимися на них продольными подпалубными балками. В районе люков ставят усиленные бимсы, опирающиеся на *карлингсы*. Для надежной передачи действующих нагрузок на вертикальные перекрытия корпуса бимсы соединяют с ними кницами и подкрепляют бракетами. Палубный стрингер соединяют с ширстрекром таким образом, чтобы исключить распространение трещин с палубы на борт или наоборот.

*Переборки* (рис.76) представляют собой вертикальные стенки, состоящие из листов и балок набора, концы которых присоединяют с помощью книц к настилам второго дна и палуб. В составе корпуса имеются продольные и поперечные переборки, которые бывают водонепроницаемые и проницаемые (легкие). Число переборок зависит от длины и типа судна. Поперечные переборки делят судно на отдельные водонепроницаемые отсеки, что увеличивает поперечную прочность и обеспечивает лучшую непотопляемость судна. В носовой части судна устанавливают *форпиковую переборку*, а в кормовой — *ахтершковую*. Переборками разграничивают также машинные и котельные отделения, грузовые трюмы и танки, топливные бункеры и т. п. Количество поперечных переборок определяется требованиями Российского Морского Регистра, причем длина отсека не должна превышать 30 м (на танкерах - не более 0,2L). *Продольные переборки* устанавливают на танкерах, комбинированных судах и на рудовозах.

Прочность водонепроницаемых переборок сухогрузных судов обеспечивают путем установки вертикальных ребер. На наливных судах используют и горизонтальные ребра (шельфы). Вырезы в водонепроницаемых переборках (двери) размещают выше грузовой ватерлинии только при необходимости из условия эксплуатации судна, а в форпиковой переборке — выше палубы переборок. Вместо плоских на некоторых судах устанавливают *гофрированные переборки*, которые имеют меньшую металлоемкость и более просты в изготовлении. На продольных переборках гофры проходят горизонтально, на поперечных — горизонтально или вертикально, в зависимости от соотношения сторон опорных контуров перекрытия.

На грузовых судах для предотвращения перемещения зерна и других навалочных грузов устанавливают *шифтлинг-бордсы*, т. е. продольные полупереборки, состоящие из брусьев, размещенных концами в направляющих у поперечных кромок люка и являющиеся продолжением полупереборки, которые идут от поперечной переборки до просвета люка.

*Противопожарные переборки* располагают на жилых палубах пассажирских судов для предотвращения распространения пожара за пределы горящего отсека. Пространства, ограниченные переборками и платформами, называют *диптанками* (глубокими цистернами) и используют для жидкого топлива, пресной или забортной воды. Диптанки разделяют продольными отбойными переборками для устранения переливания жидкости и уменьшения силы ее ударов при качке судна. Топливные цистерны отделяют от цистерн пресной воды и жилых помещений специальными отсеками, называемыми *коффердамами*.

Цистерны оборудуют вентиляционными, воздушными, измерительными и перепускными трубками, регулирующими давление и указывающими степень заполнения цистерны и удаляющими излишнее количество жидкости при переполнении цистерны. Перепускные трубки цистерн для топлива и смазки идут в сливную цистерну, снабженную сигнальными устройствами. Доступ к цистернам осуществляют через лазы, крышки которых крепятся на болтах.

*Надстройками* называют объемные конструкции, располагающиеся от борта до борта и прочно связанные с корпусом наружной обшивкой, внутренними выгородками и переборками. Лобовые (фронтальные) переборки надстройки воспринимают удары волн и являются более прочными, чем их концевые переборки. Выделяют длинные, участвующие в общей продольной прочности, и короткие (легкие) надстройки. Районы перехода обшивки корпуса в надстройку тщательно подкрепляют для уменьшения концентрации напряжений. *Рубками* считают объемные конструкции, находящиеся на главной палубе или на надстройке и не идущие от борта до борта.

*Штевни* (фор- и ахтерштевень) выполняют в виде литосварных или листовых сварных прочных конструкций (рис. 62). Форма *форштевня* зависит от назначения судна и обводов корпуса. У современных судов обычно используют вытянутый вперед форштевень, который изготавливают чаще всего в виде листовой, реже ковальной (брускового форштевня) конструкции. Брускового форштевня используют на малых судах с брусковым килем, а листовой — на больших судах, в том числе и с бульбовыми образованиями в носовой части. Судна ледового плавания имеют специальную форму форштевня, способствующую прохождению через ледовое поле. *Ахтерштевень* обеспечивает прочность судна и воспринимает усилия от руля и вибрации, вызванной вращением гребного винта. Конструкция ахтерштевня определяется формой руля и числом гребных винтов. Кованый ахтерштевень устанавливают только на малых судах, литосварной и сварной — на средних и крупных судах. Оконечности слабо участвуют в общем продольном изгибе, но воспринимают значительные местные нагруз-

ки: воздействие волн при залипании палубы, удары корпуса о воду носом (слеминг) и в развал борта при качке, усилия при швартовке, вибрация от работы двигателя и ударов носом и др. Для обеспечения прочности в конструкцию оконечностей вводят дополнительные подкрепления. Увеличивают толщину листов наружной обшивки, прилегающих к горизонтальному килю в носовой оконечности и в местах действия сосредоточенных и вибрационных нагрузок в корме. Устанавливают рамные шпангоуты и бортовые стрингеры, высокие флоры. Помимо этого в носовой оконечности уменьшают расстояние между шпангоутами и вводят промежуточные опоры в виде платформ и холостых (без настила) бимсов. Форштевень и ахтерштевень жестко скрепляют с набором оконечностей. Особое усиление оконечностей применяют на судах ледового плавания.

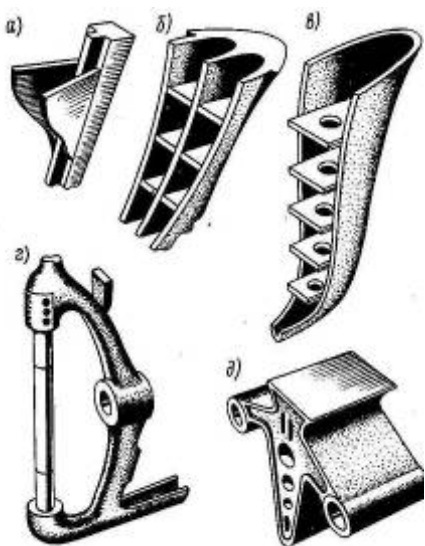


Рисунок 77 - Конструктивные элементы оконечностей, а — брусковый форштевень; б — литой форштевень; в — листовой сварной форштевень; г — ахтерштевень одновинтового судна; д—выкружки гребных валов (мортиры).

*Кронштейны и выкружки гребных валов* (мортиры) используют на двух- и трехвалных судах для подкрепления выходных гребных валов. Лапы кронштейнов закрепляют прямо на наружной обшивке с помощью литых фланцев либо перевязывают с флорами, шпангоутами и наружной обшивкой. В отличие от кронштейнов мортиры доводят почти до ступицы гребного винта. Выкружки гребных валов плавно переходят в корпус судна.

*Туннель гребного вала* образует проход — коридор и защищает валопровод и его подшипники от повреждений; изготавливается водонепроницаемым между переборкой машинного отделения и ахтерпиковой переборкой. Коридор сообщается через водонепроницаемую дверь с машинным отделением и имеет аварийный выход через специальную шахту у ахтерпиковой переборки на верхнюю палубу.

*Люки и шахты* имеют прямоугольную форму с закругленными углами, края которых имеют продольные и поперечные комингсы, подкрепленные стойками. Закрытие люков обеспечивается с помощью стальных крышек. Стальные люковые закрытия имеют механический привод. Шахта располагается над машинным отделением и закрыта сверху светлым люком с круглыми окнами. Поперечное сечение шахты выбирают из удобства выгрузки главного двигателя и котла при ремонте. Стальные люки с закрытиями служат для прохода людей. Трапы (лестницы), расположенные вне надстроек, имеют тамбуры.

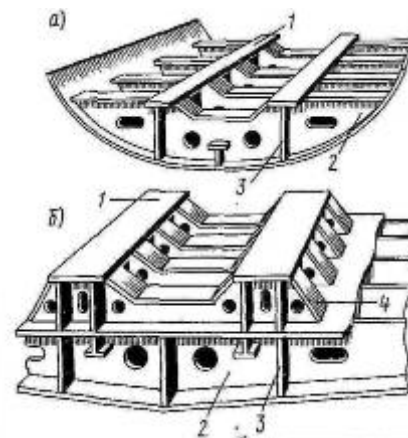


Рисунок 78 - Фундаменты: а — фундамент главного двигателя на одинарном дне; б — то же, на двойном дне. 1 — опорные горизонтальные полосы; 2 — флор; 3— днищевой стрингер; 4—кницы с полками.

*Фундаменты*, (рис.78), предназначенные для размещения и крепления машин, котлов, вспомогательных установок и устройств, воспринимают усилия, создаваемые работой механизмов, и передают их на корпус судна. Конструкция фундамента включает продольные балки с brackets между ними и кницами на наружных сторонах. На небольших судах фундаментом двигателя служат опорные листы высоких флоров. Форма фундаментов определяется конфигурацией опорной части механизма.

*Фальшборт* (рис.79) и *леерные ограждения* (поручни) устанавлива-

ют на всех незащищенных от действия волн и ветра палубах (верхняя палуба, палубы надстроек и рубок) для предотвращения падения людей за борт. Фальшборт обычно имеет высоту 1,0—1,5 м и крепится к палубе с помощью стоек, поставленных через 1,2—1,8 м. Верхнюю кромку фальшборта, выполненную из полособульба, называют *планширем*. На пассажирских судах планширь делают из дуба и покрывают водостойким лаком. В промежутке между стойками на определенном расстоянии делают *итормовые портики* с решетками или поворотными крышками для стекания попадающей на палубу воды. В последние годы между палубой и нижней кромкой фальшборта оставляют просвет шириной 100—300 мм для стока воды. В местах палубы, менее подверженных заливанию, устанавливают леерные ограждения, которые на пассажирских судах обычно заменяют сеткой на стойках.

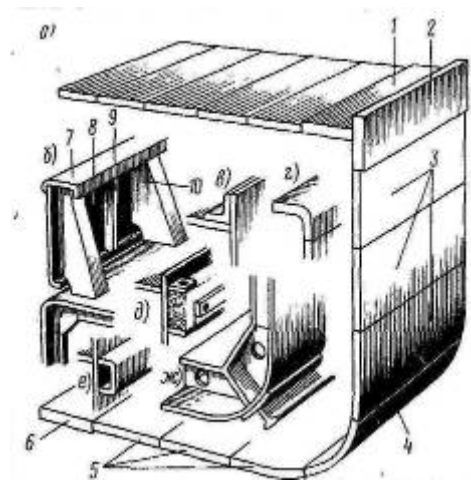


Рисунок 79 - Наружная обшивка и элементы судовых конструкций: а - наружная обшивка; б - фальшборт; в, г - соединения стрингера с ширстреком; д, е - деревянный и стальной привальные брусья; ж - скуловой киль. 1 - палубный стрингер; 2 - ширстреком; 3 - бортовые пояся; 4 - скуловой пояс; 5 - днищевые пояся; 6 - горизонтальный киль; 7 - планширь; 8 - лист фальшборта; 9 - ребро жесткости; 10 - стойка фальшборта

После изготовления корпус судна подвергают испытаниям на непроницаемость и герметичность. В процессе испытаний проверяют способность корпусных конструкций не пропускать воду или другую жидкость, а также различные газообразные вещества. Отдельные конструкции (секции, вкладные цистерны, пустотелые рули и т. д.) испытывают в цехе сразу после их изготовления. Более крупные части (отсеки, надстройки и

др.) проверяют на стапеле или на плаву после сборки корпуса. Завершающим этапом являются контрольные испытания отсеков или помещений после окончания всех монтажных работ. Испытания производят водой (под давлением и без давления), сжатым воздухом и керосином. Качество сварки оценивают с помощью гамма-графирования, заключающегося в выборочном просвечивании наиболее ответственных швов радиоактивными лучами. Все эти работы ведутся в соответствии с заранее разработанной программой испытаний при соблюдении безопасности труда.

## 6.5 Судовые устройства и сигнальные средства

Судовые устройства служат для обеспечения нормальной эксплуатации судна и выполнения поставленных перед ним задач. Различают общесудовые (рулевое, якорное, швартовное, буксирное, спасательное, грузовое) и специальные (например, промысловое) устройства.

*Рулевое устройство* (рис.80) позволяет изменять направление движения судна и удерживать его на заданном курсе. Элементами рулевого устройства являются руль, рулевая машина с приводом и рулевой сектор, связанный с баллером руля. Поворот руля осуществляется за счет передачи энергии от вала электродвигателя через редуктор на рулевой сектор. В аварийной обстановке используют управляемый вручную механизм, состоящий из штурвала, приводящего в движение червячное колесо взаимодействующего с ним сектора и баллера руля.

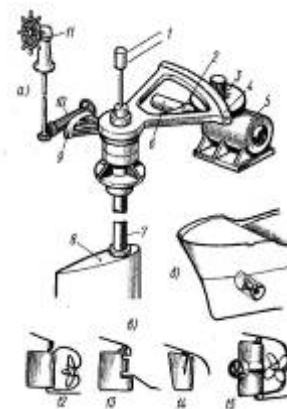


Рисунок 80 - Элементы рулевого устройства (а), подруливающее устройство (б) и типы рулей (в). 1 — к рулевой рубке; 2 — румпель; 3 — редуктор; 4 — рулевой сектор; 5 — двигатель; 6 — пружина; 7 — баллер руля; 8 — перо руля; 9 — сектор аварийного привода; 10—„червяк“; 11—штурвал; 12 — обыкновенный руль; 13 — полубалансирный руль; 14 — балансирный руль; 15 — активный руль

На современных судах часто применяют гидравлические рулевые машины, управляемые по сигналу от датчика телемотора и использующие в качестве рабочего органа протекающее под давлением в трубопроводах масло.

Различают пассивные и активные рули. Пассивные рули позволяют осуществить поворот судна только на время хода, тогда как с помощью активного руля возможно маневрирование как на ходу, так и на стоянке. Перо руля представляет собой хорошо обтекаемое тело, оболочка которого с внутренней стороны подкреплена ребрами и вертикальными диафрагмами. В перо активного руля вмонтирован электродвигатель с гребным винтом в насадке. При повороте руля возникает упор от работающего гребного винта и улучшается маневренность. Для повышения маневренности используют также подруливающие устройства (см. рис.80,б), установленные в поперечном туннеле в носовой и кормовой частях судна. Расположенные в середине туннеля гребные винты или осевые насосы создают необходимый упор, и корпус судна перемещается в заданном направлении. Иногда в подруливающих устройствах используют винты регулируемого шага.

В зависимости от положения пера руля относительно баллера различают обыкновенный, полубалансирный и балансирный рули. У обыкновенного руля площадь пера расположена за осью вращения, у полубалансирного — часть этой площади находится перед осью вращения, за счет чего уменьшается действующий момент. Балансирные рули конструируют таким образом, чтобы выбранное соотношение площадей относительно оси баллера позволило свести к минимуму действующий вращательный момент. Крепление руля осуществляют различными способами: либо с помощью шарниров и подпятника, закрепленных на ахтерштевне, либо используют руль подвесной конструкции.

*Якорное устройство* (рис.81) служит для удержания судна в определенном положении относительно волн, ветра, течений и пр. Элементами якорного устройства являются *якорь, якорная цепь, якорный шпиль* или *якорная лебедка* (брашпиль). Якорная цепь идет от якоря через *якорный клюз, стопор*, цепную звездочку шпиль (брашпиля) и попадает в *цепной ящик*, где крепится с помощью специальной скобы. Носовое якорное устройство имеет два якоря, расположенные по бортам судна. На некоторых судах устанавливают и кормовое якорное устройство с одним или двумя якорями.

Существуют якоря с постоянными лапами и штоком и якоря с поворотными лапами со штоком и без штока (рис.81,б, г). К первому типу относится широко известный адмиралтейский якорь, отличающийся простотой и прекрасной держащей силой. Основная трудность его применения

— неудобства, связанные с уборкой якоря по-походному. Наибольшее распространение получили бесштоковые якоря с поворотными лапами. Среди них следует выделить якорь Холла, имеющий примерно вдвое меньшую держащую силу по сравнению с адмиралтейским, но отличающийся простотой и легкостью уборки. Более высокой держащей силой обладает якорь Матросова, имеющий вытянутые вдоль веретена лапы с выступами, которые выполняют функции штока.

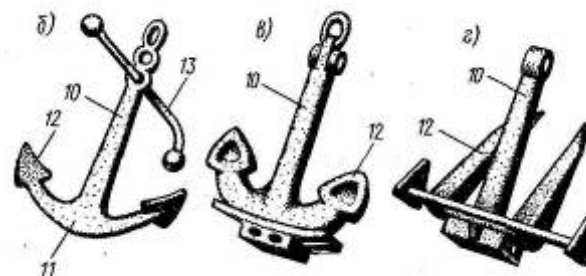
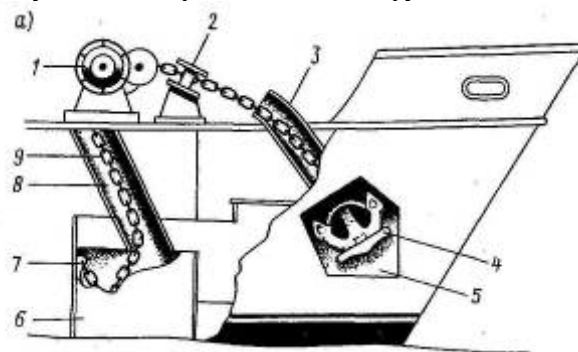


Рисунок 81 - Якорное устройство: а — элементы якорного устройства; б — адмиралтейский якорь; в — якорь Холла; г — якорь Матросова; 1 — брашпиль; 2 — стопор; 3 — труба якорного клюза; 4 — якорь; 5 — якорная ниша; 6 — цепной ящик; 7 — устройство для крепления якорной цепи; 8—цепная труба; 9—якорная цепь; 10—веретено; 11—рог; 12 — лапа; 13 — шток.

При постановке судна на якорь производят отдачу якоря, который падает на дно и зацепляется лапами за грунт. Длина якорной цепи значительно больше глубины акватории в месте стоянки судна. Цепь ложится на грунт и обеспечивает условия, при которых сила, воздействующая на якорь, имеет горизонтальное направление. При подъеме якоря цепь постепенно занимает вертикальное положение (судно подтягивается к якорю) и в момент отрыва необходимо приложить усилие, равное удвоенно-



му весу якоря. Затем цепь выбирают и укладывают в цепной ящик до тех пор, пока якорь не окажется в клюзе.

Силы, действующие на судно при якорной стоянке показаны на рис. 82. После отдачи якоря судно приводится в некоторое положение, при котором горизонтальная составляющая сил давления ветра и воды  $Q$  уравновешивается натяжением цепи  $T_0$ . Усилие  $T_0$ , представляющее собой горизонтальную проекцию натяжения цепи  $I_0$ , уравновешивается держащей силой якоря  $P$  и силой трения  $F$  цепи о грунт. Величина  $P$  значительно больше  $F$ , однако роль якорной цепи в обеспечении стоянки судна очень велика: якорь хорошо работает только тогда, когда вырывающие его из грунта усилия действуют в горизонтальной плоскости. Это усилие обеспечивается только в том случае, если часть цепи лежит на грунте, поэтому длина якорной цепи должна быть больше глубины акватории.

В штормовых условиях якорная цепь ведет себя как хороший демпфер и воспринимает значительные динамические нагрузки. Длинная и тяжелая цепь больше провисает и имеет большой запас потенциальной энергии, демпфирующие свойства ее выше.

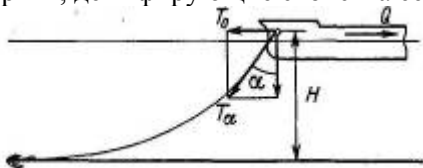


Рисунок 82 - Силы, действующие на судно при якорной стоянке

Кроме обычных используют также плавучие и мертвые якоря. С помощью плавучего якоря, представляющего собой сбрасываемое в носовой части плохо обтекаемое тело, судно, потерявшее ход и маневренность из-за повреждений главного двигателя и других причин, удерживается в определенном положении относительно волнения и ветра. Мертвые (безлапые) якоря применяют при постановке на якорь больших плавучих сооружений, рейдовых швартовых бочек и т. д. Обычно это железобетонный груз, уложенный на дно водоема.

*Швартовное и буксирное устройства* (рис.83) служат для обеспечения швартовки судна во время Стоянки в порту или у борта другого судна, а также для буксировки в аварийных и других ситуациях. *Швартовное устройство* состоит из швартовых тросов, клюзов, киповых планок и кнехтов. Швартовые операции обеспечивают с помощью шпилей или брашпильей. После заводки швартовов судно подтягивают к месту швартовки (причал, судно, швартовная бочка), а затем швартовы крепятся на кнехтах. Для обеспечения пропускания швартового троса через клюзы и киповые планки их боковым поверхностям придают плавные обводы.

Иногда киповые планки имеют роульсы (ролики). Швартовные тросы изготавливают из стальных провололок, из растительных (пенька, сизаль), а в последние годы из синтетических материалов.

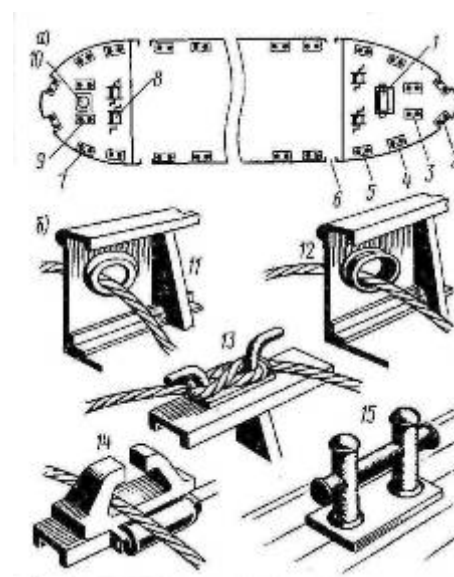


Рисунок 83 - Буксирное и швартовное устройства: а — элементы буксирного и швартовного устройства. 1 — брашпиль; 2 — швартовная киповая планка с тремя роульсами; 3, 9 — буксирные кнехты; 4, 5, 7, 15 — кнехты; 8 — вьюшка; 10 — шпиль; 6, 11, 12 — швартовные клюзы; 13 — утка; 14 — обыкновенная киповая планка с направляющим валиком

*Буксирное устройство* на транспортных судах состоит из буксирных кнехтов и направляющих роульсов, расположенных в основном в носовой и кормовой частях судна. Буксирное устройство используют также и для швартовых операций. На специальных буксирных судах буксирное устройство используют для буксировки воза (баржа, аварийное судно и др.)- Оно включает в себя буксирный гак и трос, буксирную дугу, по которой перемещается гак при рыскании воза, буксирные арки, клюзы и буксирную лебедку (рис.84).

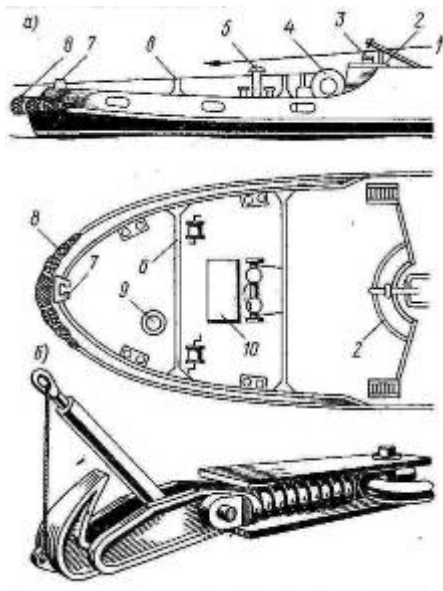


Рисунок 84 - Буксирное устройство буксира; а — общий вид; б — буксирный гак. 1 — трос на направляющий блок; 2 — буксирная дуга; 3 — гаки; 4 — лебедка; 5 — битенг; 6 — арка; 7 — клюз; 8 — отбойное устройство; 9 — швартовный шпиль; 10 — площадка для работы с тросом.

Важное значение для надежной работы буксира имеет длина буксирного троса, которая должна обеспечивать свободное перемещение точек его закрепления на величину возможного смещения судов при плавании в штормовую погоду. Восприятие динамических нагрузок в этих условиях происходит за счет выпрямления и упругого удлинения троса («игра» троса). Поэтому лучшие динамические качества имеют тросы, обладающие достаточно большим весом и высокими упругими свойствами. Для обеспечения достаточной «игры» троса применяют буксировку с помощью автоматической буксирной лебедки.

Другая особенность работы буксирного устройства состоит в том, что натяжение буксирного троса при маневрировании или дрейфе воза создает кренящий момент, ухудшающий остойчивость. При статическом натяжении троса под воздействием ветра этот момент вычисляют по формуле

$$M_{кр} = P(z_0 - z_q),$$

где  $P$  — проекция на плоскость мидель-шпангоута силы натяжения буксирного троса;  $z_0$  — аппликата точки закрепления буксирного гака;  $z_q$  — аппликата точки приложения силы дрейфа.

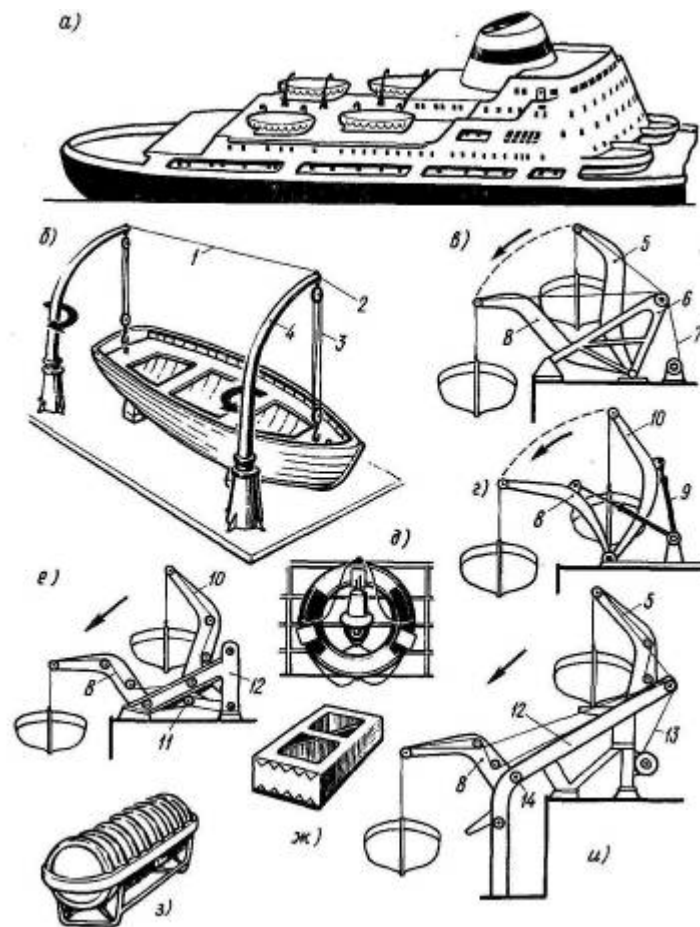


Рисунок 85 - Спасательное устройство: а — расположение спасательного устройства; б—г, е, и — типы шлюпбалок (б — поворотная; е — откидная; г — заваливающаяся; е — гравитационная; и — гравитационная шлюпбалка с направляющей); ж, з — жесткий и надувной спасательные плоты; д — спасательный круг. 1 — топрик; 2 — бакштаг; 3 — шлюп-тали; 4 — шлюпбалка; 5, 10 — стрела шлюпбалки; 6 — станина шлюпбалки; 7 — лопарь шлюп-талей; 8—шлюпбалка после вываливания за борт; 9 — винт; 11 — ролик; 12— станина шлюпбалки; 13 — лопарь шлюп-талей; 14 — ролик/

Наибольшую опасность представляет динамическое наклонение от рывка буксирного троса. Возникающий в этих условиях кренящий момент может привести к опрокидыванию буксира.

Спасательное устройство (рис.85) предназначено для обеспечения спасательных операций при аварии судна и состоит из шлюпок, спуск ко-

торых обеспечивают шлюпбалками. Используют также жесткие и надувные плоты, хранящиеся в специальной упаковке. Помимо этого имеются индивидуальные спасательные средства: нагрудники, жилеты, спасательные круги.

Спасательные шлюпки бывают открытого и закрытого типов. Их изготавливают из дерева, металла или пластмассы и для повышения плавучести снабжают воздушными ящиками. На больших шлюпках применяют механический двигатель или ручной привод. На всех спасательных шлюпках имеются запасы продовольствия, пресной воды, медикаментов, а также сигнальных ракет, а иногда и переносных радиостанций. Шлюпки устанавливают на шлюпбалки и спускают за борт с помощью механического привода. Используют поворотные, откидные, заваливающиеся и гравитационные (скользящие) шлюпбалки. Спасательные плоты, так же как и шлюпки, снабжены необходимыми запасами и сигнальными средствами. Иногда в качестве спасательного средства используют канатный транспортер, имеющий вид корзины, подвешенной к канату, протянутому между судном, терпящим бедствие, и спасательным судном. Проводку такой связи осуществляют путем выстреливания метательного снаряда с прикрепленным к нему канатом и последующей выброской более толстого каната, используемого при транспортировке людей, терпящих бедствие.

*Грузовое устройство* (рис. 86) служит для погрузочно-разгрузочных операций и состоит, как правило, из мачты (полумачты), стрелы, грузового троса (шкентеля) с гаком и грузовой лебедки. Грузовая стрела своим основанием (шпор) крепится к мачте на шарнире, а верхняя ее часть (нок) поддерживается топенантом и имеет оттяжки, обеспечивающие поворот грузовой стрелы. Грузовой трос пропускают через блок у нока стрелы и через направляющий блок, закрепленный с помощью вертлюга в башмаке на мачте, а оттуда — к барабану грузовой лебедки. Установку стрелы в нужное для работы положение обеспечивают за счет поднятия или спуска хвостовика топенанта через канифас-блок на палубу и турачку лебедки. Различают стрелы для легких грузов и стрелы-тяжеловесы. Грузовые лебедки снабжены электрическим или электрогидравлическим приводом и имеют тормоз, позволяющий остановить груз в любом положении.

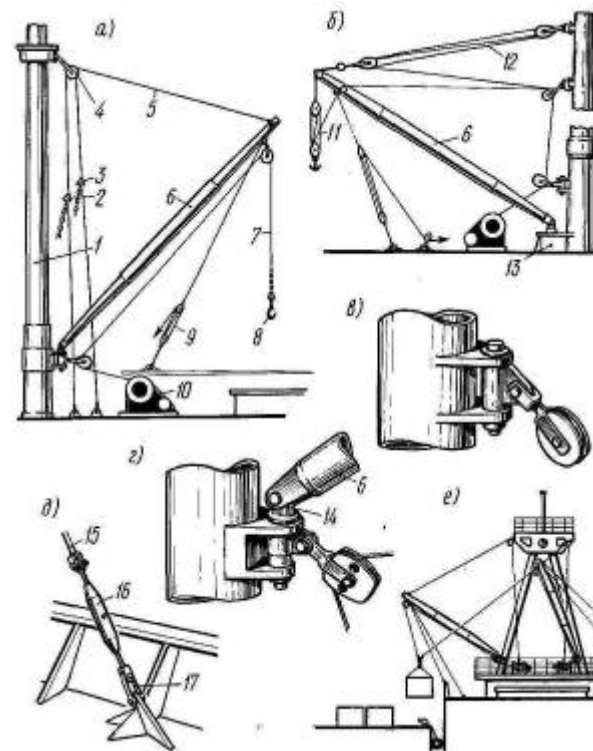


Рисунок 86 - Грузовое устройство: а — легкая стрела; б — стрела-тяжеловес; в — д — элементы грузового устройства; в — башмак топенанта с блоком; г — крепление шпора грузовой стрелы; д — крепление вант к палубе; е — работа грузового устройства с двумя неподвижными грузовыми стрелами. 1 — мачта; 2 — цепочка топенанта; 3 — треугольное соединительное звено; 4 — топенантный блок; 5 — топенант; 6 — грузовая стрела; 7 — шкентель; 8 — гак; 9 — оттяжки; 10 — грузовая лебедка; 11 — грузовые тали; 12 — топенантные тали; 13 — фундамент грузовой стрелы; 14 — вертлюг; 15 — концевая обойма; 16 — талреп; 17 — скоба.

Помимо грузовых стрел на современных судах используют краны-стрелы, грузовые краны, обеспечивающие поворот, наклон, подъем и опускание груза.

Грузовые операции выполняют через грузовые люки, имеющие закрытия в виде стальных крышек. На больших судах используют сдвигающиеся по одну сторону и откидывающиеся кверху стальные люковые крышки с резиновым уплотнением и механическим устройством для закрытия (рис. 87). Такие крышки перемещаются на роликах по продольным направляющим.

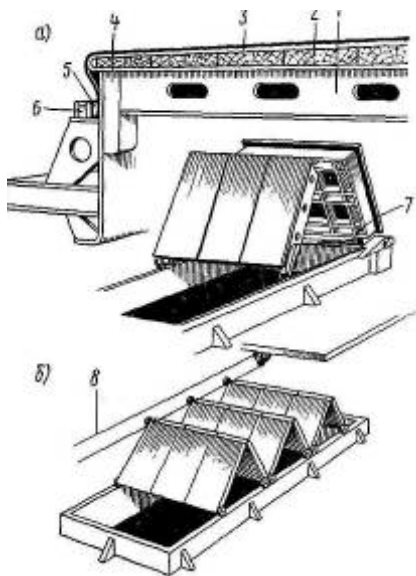


Рисунок 87 - Люковые закрытия: а — со съемными деревянными лючинами; б — складная крышка с гидравлическим приводом; в — складная крышка с тросовой тягой. 1 — съемный бимс; 2 — деревянные лючины; 3 — брезент; 4 — гнездо; 5 — стальная шина; 6 — клин; 7 — гидравлический цилиндр; 8 — тросовая тяга к грузовой лебедке.

Интересные пути выполнения грузовых операций используют на таких высокоэффективных судах, как контейнеровозы, суда с горизонтальной грузообработкой (накатные суда) и лихтеровозы.

Большие контейнеровозы, используемые на регулярных линиях, не имеют грузовых устройств и полностью обеспечиваются оборудованием портов. Малые контейнеровозы имеют собственные грузовые средства. Обычно это перемещающиеся вдоль судна мостовые краны. Трюмы контейнеровозов выполняют ячеистой конструкции с вертикальными направляющими для быстрой погрузки или разгрузки контейнеров. Часть контейнеров перевозится на палубе и закрепляется с помощью фитингов — фиксаторов и тяг — цепей и талрепов.

На судах с горизонтальной грузообработкой, предназначенных для перевозки колесной техники и штучных грузов, грузовые операции производятся следующим образом. Автомобили, трейлеры и другая колесная техника загружаются, как правило, самоходом, а штучные грузы — с помощью автопогрузчиков, через кормовые, реже носовые аппарели, а также лацпорты (вырезы в бортах судна). Внутри судна грузы перемещаются по

пандусам (наклонным настилам), аппарелям, с помощью лифтов, подпалубных кранов и транспортеров.

Схема грузовых операций на баржевозах зависит от способа принятия лихтеров на борт судна. На баржевозах типа ЛЭШ подъем и транспортировку лихтеров ведут краном. Плавающий в кормовой части судна лихтер сначала приподнимают на нужную высоту (с помощью спредера), а затем перемещают горизонтально и ставят в трюм (в несколько ярусов) и на крышки люков (в 1—2 яруса). Баржевозы типа Си би перевозят более крупные баржи, располагающиеся на нескольких палубах. Для подъема и спуска барж в корме имеется лифт, на котором могут разместиться сразу две баржи. При погрузке лифт опускается в воду так, чтобы плавающая баржа могла свободно войти в него. После подъема лифта до уровня нужной палубы под баржу подводится тележка, на которой баржу по рельсам транспортируют в заданное место, переносят с помощью гидродомкратов и надежно закрепляют. Для транспортировки барж из небольших или речных портов к морским судам используют баржевозы типа БАКАТ, имеющие такие же грузовые устройства, как и баржевозы типа ЛЭШ. Двухкорпусная конструкция судна позволяет барже свободно заплывать между корпусами, где они и закрепляются. Небольшие баржи поднимают на палубу с помощью лифтов.

*Промысловое устройство* служит для обеспечения работы с орудиями лова на промысловых судах. Наиболее распространенными видами промысла является траловый, дрейфтерный и кошельковый. Наряду с ними используют ярусный лов с помощью крючковой снасти, лов рыбы на свет и с помощью электрического тока.

*Рангоут и такелаж* (рис. 88) составляют мачты, стрелы и вся движущаяся и недвижущаяся оснастка (реи, гафели, ванты, штаги и детали к ним). Все эти названия пришли в современное судостроение со времен парусных судов, хотя их функции совершенно другие и состоят в размещении грузового устройства и сигнального оборудования. Мачты являются основной частью рангоута и бывают сигнальные, грузовые и специальные. Крепление мачт осуществляют с помощью штагов (в диаметральной плоскости) и вант (по бортам). Сигнальные мачты служат для размещения сигнальной и радиоантенной реи, а также гафеля для подъема флага и флажных фалов.

Мачты обычно бывают трубчатой конструкции. Для размещения и крепления стрел в нижней части мачты устраивают траверсу, а в верхней салинг. Помимо обычных мачт на судах часто встречаются двуногие мачты, соединенные между собой связывающими штангами или траверсами. В качестве одной из мер по обеспечению безопасности мореплавания помимо технических вспомогательных средств (радиолокационные стан-

ции, радиоустановки) используют сигнальные огни, а при ухудшении видимости (туман, пасмурная погода, снегопад, сильный дождь) — звуковые сигналы с помощью свистков, колокола или электрического гонга.

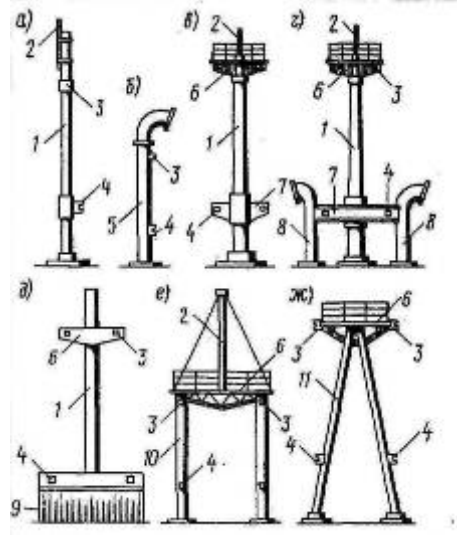


Рисунок 88 - Грузовые мачты и колонки: а — одиночная мачта без салинга; б — грузовая колонка; в — одиночная мачта с салингом и краспицей, опертой на две колонки; г — одиночная мачта с опорной рубкой; д — П-образная мачта; ж — Л-образная мачта. / — мачта; 2 — стеньга; 3 — обух топенанта; 4 — башмак стрелы; 5 — грузовая колонка; 6 — салинг; 7 — краспица; 8 — вентиляционные колонки; 9 — рубка; 10 — полумачта; 11 — укосины

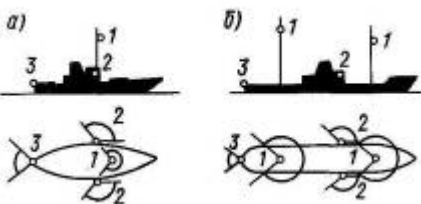


Рисунок 89 - Ходовые огни судна длиной менее 45,75 м (а) и судна длиной более 45,75 м (б) на ходу. 1 — топовый; 2 — бортовой; 3 — кормовой.

Сигнальные огни (рис.89) позволяют определить положение и направление движения судна. К ним относятся белые топовые огни, расположенные на передней носовой и кормовой мачтах. На малых судах этот огонь устанавливают только на передней мачте. По бортам судна расположены зеленый (на правом борту) и красный (на левом борту) огни, свет от которых не виден с носовой и кормовой оконечностей судна. В корме

имеется белый огонь. В особых условиях эксплуатации в соответствии с международными Правилами суда несут также сигнальные огни и знаки, позволяющие получить нужные сведения о типе и размерах судна, состоянии движения и выполняемой функции, курсе, удаленности и т. д.

## 6.6 Судовые системы

Судовые системы служат для обеспечения нормальной эксплуатации судна и включают в себя общесудовые (трюмные системы, системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха, противопожарные системы, системы измерения осадки судна и уровня жидкости в отсеках, воздушные и переговорные трубы), специальные системы (грузовая и зачистная системы танкеров и др.), а также системы судовой энергетической установки. Основными конструктивными элементами системы являются трубопроводы, арматура, механизмы и вспомогательные приборы.

К трюмным системам относят осушительную, балластную, водоотливную, водоснабжения и канализации. Осушительная система предназначена для удаления сточных и льяльных вод, скапливающихся внутри корпуса в льялах и сборных колодцах. Балластная система служит для изменения посадки и остойчивости судна за счет приема или откачки жидкого балласта из специальных отсеков, расположенных в двойном дне, фор- и ахтерпике, диптанков, бортовых и подпалубных цистерн. Водоотливная система используется для откачки за борт больших масс воды из отсеков, затопленных в результате аварии или при тушении пожара. Система водоснабжения предназначена для обеспечения судна питьевой, мытьевой и забортной водой.

Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха обеспечивают поддержание нормальных условий для экипажа, содержания грузов и запасов. Используют паровое, водяное, электрическое и воздушное отопление. При паровом отоплении по грелкам (радиаторам) пропускают пар от главных или вспомогательных котлов, а при водяном — горячую воду. Электрическое отопление ведется с помощью нагревательных приборов и грелок. Воздушное отопление обычно осуществляется системой кондиционирования воздуха. Вентиляция помещений происходит за счет вдувания или вытяжки воздуха и бывает естественной или искусственной.

Естественная вентиляция происходит за счет различия в весе воздуха снаружи и внутри помещения, а также создания напора или разрежения потоком воздуха у вентиляционных отверстий. Система кондиционирования обеспечивает постоянство температуры и относительной влажности воздуха. Для создания в грузовых трюмах и продовольственных кладовых воздушной среды с низкой, температурой и определенной влажностью

используют рефрижераторную систему, работа которой обеспечивается с помощью компрессионных и холодильных машин.

*Противопожарные системы* бывают водяного, парового, газового и пенного тушения. Водяные системы включают в себя магистрали пожарных трубопроводов с присоединенными пожарными рукавами и насосами большой производительности и давления. Помимо этого применяют оросительные системы, состоящие из напорной цистерны с сетью трубопроводов, заканчивающихся насадками. Включение оросительной системы в помещениях, где возник пожар, производится автоматически от датчиков, реагирующих на повышение температуры.

Действие паровых и газовых противопожарных систем основано на предварительной герметизации помещения и создании атмосферы не поддерживающей горения.

Принцип тушения пожара с помощью пенных огнетушителей, применяемых для тушения горящих жидкостей, заключается в изоляции горячей поверхности от кислорода слоем специальной пены.

К переносным пожарным средствам относятся водяные, пенные и углекислотные огнетушители, химические приборы, ящики с песком и асбестовые одеяла. Локализация пожара и предупреждение его распространения обеспечиваются за счет установки противопожарных переборок.

Возникновение пожара обнаруживается сигнальной системой, автоматически срабатывающей после того, как подсасываемый из контролируемых помещений и пропущенный через детектор воздух содержит дым.

Помимо указанных систем на судах находят применение системы измерения уровня жидкости и осадки, воздушные и переговорные трубы. Контроль за уровнем жидкости в цистернах (определение количества топлива, балласта, пресной и трюмной воды) осуществляют с помощью автоматически действующих дистанционных измерительных систем. Простейшим устройством контроля являются измерительные трубы, устанавливаемые в районе наиболее низких мест цистерн или льял, и выходящие на открытые палубы. Измерение жидкости в этом случае производят металлической рейкой с делениями, называемой футштоком. Воздушные трубы служат для входа и выхода воздуха и устанавливаются в самых верхних точках цистерн. Концы воздушных труб на верхней палубе изгибают и снабжают специальным клапаном для предотвращения попадания воды. Довольно часто воздушные трубы используют в качестве измерительных. Переговорные трубы служат резервным средством внутрисудовой связи (телефон, радиотелеграф и пр.) и соединяют командные посты с наиболее важными судовыми помещениями.

К *специальным* относятся системы для обеспечения эксплуатации

танкеров: грузовая и зачистная системы, система подогрева груза, газоотводная система и система орошения палуб. Грузовая система обеспечивает все необходимые операции, связанные с приемом, перекачкой и удалением жидких грузов. Зачистная система служит для осушения трюмов от остатков нефтепродуктов. Система подогрева груза устанавливается на танкерах с нефтепродуктами большой вязкости и состоит из проложенных по днищу танков змеевиков, через которые под давлением пропускается пар. Газоотводная система обеспечивает удаление из танков газов, скапливающихся над свободной поверхностью жидкости.

Система орошения палуб служит для уменьшения испарения нефтепродуктов при нагревании палубы.

## **6.7 Энергетические установки судов**

На судах находят применение паротурбинные, дизельные, газотурбинные и атомные энергетические установки. Различают установки с прямой передачей мощности на движитель и с промежуточной передачей через редуктор или с помощью электродвижения. Помимо этого следует выделить реверсивные двигатели, позволяющие изменять направление вращения выходного вала и используемые для гребных винтов постоянного шага, и неререверсивные - для гребных винтов переменного шага (винты регулируемого шага). Основными требованиями, которые предъявляются к судовым электрическим установкам (прямая передача с помощью электродвижения), являются простота в обслуживании, компактность, малые габариты и масса.

Для повышения надежности работы энергетических установок и уменьшения численности машинной команды на судах широко используют средства контроля и автоматизации управления.

*Паротурбинные энергетические установки* используют в качестве рабочего агента водяной пар, тепловая энергия которого преобразуется в механическую. Паровая турбина состоит из двух корпусов, в одном из которых находится ротор турбины высокого давления. Каждая турбина имеет несколько ступеней. Основными конструктивными элементами турбины являются неподвижные направляющие лопатки или сопла, в которых тепловая энергия пара за счет перепада давления и температуры преобразуется в кинетическую энергию потока, и рабочие лопатки вращающегося ротора, при воздействии на которые пара производит работу и вращает турбину.

Принцип работы турбины состоит в активном и реактивном действии пара. В активных турбинах по обеим сторонам рабочих лопаток давление одинаково и тепловая энергия преобразуется в кинетическую непосредственно в расширительных устройствах. В реактивных турбинах та-

кие устройства позволяют преобразовать только часть тепловой энергии, а дальнейшее падение давления и превращение тепловой энергии в кинетическую происходят в каналах между лопатками.

Питание турбины паром обеспечивают парогенераторы — цилиндрические и водотрубные котлы. В цилиндрических котлах горячий газ проходит через дымогарные трубы и нагревает омывающую их воду. В водотрубных котлах нагреваемая вода движется по трубам, а газ — снаружи между стенками труб. Современные парогенераторы работают на жидком топливе и в редких случаях — на жидкостно-газовом топливе. Принцип действия такого парогенератора достаточно прост; с помощью насосов подогретое и очищенное топливо нагнетают в форсунки, распыляют и сжигают в камере сгорания. Образующийся при этом газ отдает свою тепловую энергию, нагревая воду, и выводится через дымоход. Полученный пар идет к пароперегревателю, где нагревается до высокой температуры и подается на турбину. Скорость вращения ротора турбины достигает нескольких тысяч оборотов в минуту, поэтому для снижения частоты вращения гребного винта и повышения его КПД между турбинами и гребными валами устанавливают редукторы. Наряду с турбинами главной энергетической установки в машинных отделениях используют вспомогательные турбины, служащие для привода генераторов, насосов, вентиляторов и т. д.

Паротурбинные установки применяют на крупных морских судах при мощности более 30 тыс. кВт.

*Двигатели внутреннего сгорания (ДВС)* занимают ведущее место среди энергетических установок современных морских судов. Различают четырехтактные и двухтактные ДВС. Помимо этого дизели бывают с наддувом и без наддува, а также малооборотные (частота вращения 100—150 об/мин) и среднеоборотные (300—600 об/мин). Главная энергетическая установка состоит из одного или нескольких агрегатов.

Рабочий цикл четырехтактного ДВС осуществляется за два оборота коленчатого вала (за четыре хода поршня). При этом механическая работа совершается только за время одного такта, остальные служат для подготовки. Первый такт (всасывание) связан с созданием разрежения в цилиндре и поступлением в него атмосферного воздуха через всасывающий клапан. Во втором такте поступивший воздух сжимается, за счет чего повышается его давление и температура. В цилиндр через форсунку впрыскивается распыленное топливо, которое вместе со сжатым воздухом образует самовоспламеняющуюся смесь. Третий такт (расширение) является рабочим, в процессе которого расширяющиеся газы совершают механическую работу. Четвертый такт сопровождается открытием выпускного клапана и выходом наружу отработавших газов. Для равномерного распре-

ления рабочих тактов четырехтактные дизели делают многоцилиндровыми.

Рабочий цикл двухтактного ДВС состоит из двух тактов и происходит за один оборот коленчатого вала. Первый такт (сжатие) сопровождается подачей в полость цилиндра сжатого продувочного воздуха, вытесняющего отработавшие газы через выпускной клапан. Воздух в цилиндре сжимается и производится впрыскивание топлива и воспламенение смеси. Во время второго такта (расширение) расширяющиеся газы производят механическую работу. Для повышения мощности двигателя используют дополнительную подачу сжатого воздуха в цилиндр (наддув), обеспечивающую более полное сжатие топлива.

Четырехтактные ДВС находят применение в составе дизель-генераторных установок, либо в качестве главного двигателя в многовальных энергетических установках. Двухтактные ДВС имеют большие размеры и массу, и используются на крупнотоннажных судах. Среднеоборотные дизели имеют преимущества перед малооборотными, заключающиеся в увеличении надежности, уменьшении габаритов и собственной массы деталей, а также удельной массы, приходящейся на создаваемую мощность.

*Газотурбинные установки* по принципу действия аналогичны паровым турбинам и основаны на использовании в качестве рабочей среды газа, образующегося в результате сгорания жидкого топлива. Действие газовой турбины состоит в формировании в камере сгорания горячей смеси, которая проходит через турбину компрессора и поступает на рабочую турбину, вращающую через редуктор гребной вал.

Малые габариты и масса газовых турбин открывают широкие возможности использования газовых турбин на быстроходных судах (суда на подводных крыльях и воздушной подушке). На обычных морских судах из-за сравнительно низкого КПД и большого расхода топлива эти установки почти не применяются.

*Атомные энергетические установки* включают реактор, парогенератор и турбину, приводящую во вращение движитель. Установка разделяется на два контура. В первом контуре циркулирует вода под высоким давлением. Проходя через реактор, она нагревается до высокой температуры, поступает в змеевик парогенератора, где отдает свое тепло, и снова возвращается в реактор. Образующийся в парогенераторе пар поступает во второй контур, питает турбину, вращающую через редуктор гребной винт, и через конденсатор снова направляется в парогенератор.

Ядерный реактор служит для получения энергии за счет расщепления ядер атомов (урана или плутония). Во время цепной реакции выделяется огромная тепловая энергия, уменьшение которой достигается за счет

замедлителей (графит, бериллий, вода). Для снижения потери нейтронов устанавливают отражатель из бериллия или графита. Поток нейтронов управляют путем изменения положения регулируемых стержней, изготовленных из поглощающих нейтроны материалов (кадмия, бора, индия). В качестве теплоносителей помимо воды используют органические жидкости, сплавы из легкоплавких материалов и т. д. Условия работы ядерного реактора обеспечивают постоянство цепной реакции.

Для защиты от радиоактивного излучения реактор изолируют специальным экраном. Используют первичный и вторичный экраны. Первичный экран, окружающий реактор, изготавливают из свинцовых пластин с полиэтиленовым или бетонным покрытием. Вторичный (обычно бетонный) экран защищает парогенератор и весь первый контур.

Несмотря на неоспоримые преимущества атомных энергетических установок, состоящих в очень малом расходе топлива и обеспечении практически неограниченной дальности плавания, использование их в судостроении тормозится сложностями эксплуатации и опасностью заражения из-за удаления отходов использованного топлива, выпуска трюмной воды из реакторного отсека, а также возникающих аварий судна и энергетической установки.

Характер передачи энергии от двигателя к движителю определяется типом энергетической установки. Наибольшее распространение получила прямая передача на вал, применение которой возможно только при использовании малооборотных двигателей. В этом случае фланец главного двигателя с помощью муфты крепится к фланцу гребного вала, состоящего из одной или нескольких частей, соединенных муфтами (рис.90).

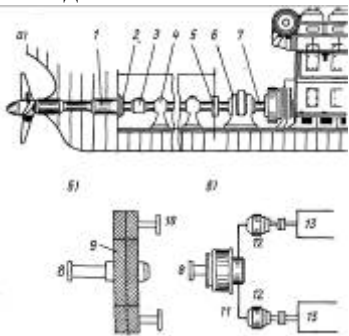


Рисунок 90 - Различные варианты передачи энергии к гребному винту: а — прямая; б — редукторная; в — электрическая. 1 — гребной вал; 2 — сальник; 3 — полумуфта; 4 — опорный подшипник; 5 — переборочный сальник; 6 — упорный подшипник; 7 — упорный вал; 8 — к фланцу гребного вала; 9 — редуктор; 10 — к фланцу двигателя; 11 — гребной электродвигатель; 12 — генератор; 13 — двигатель

Гребной вал опирается на радиальные подшипники, а кормовая его часть проходит через уплотнительный сальник, предохраняющий туннель гребного вала от попадания морской воды. Вал заканчивается конусом для установки гребного винта, осевое давление которого воспринимается упорным подшипником.

При большой частоте вращения главного двигателя используют редукторы или электродвижение. Связь между двигателем и редуктором осуществляется путем установки соединительной муфты со стороны двигателя и разобширной муфты со стороны гребного винта. Электрическую передачу обеспечивают с помощью генераторов, приводимых во вращение главным двигателем, и электродвигателя, питаемого от генератора и вращающего гребной винт. В зависимости от типа главного двигателя различают дизель- и турбоэлектрические энергетические установки. Наибольшее распространение на судах получили дизель-электрические установки, позволяющие использовать неререверсивные ДВС, и обеспечивающие гибкую экономичную работу всего энергетического блока.

## 7 ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПОСТРОЙКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СУДОВ

### 7.1 Проектирование судов.

Процесс создания судна включает в себя несколько этапов, основными из которых являются проектирование судна и его постройка. Последняя связана с большими материальными затратами и привлечением десятков, а иногда и сотен специализированных предприятий и организаций судостроительной и других отраслей промышленности. Чтобы построенное судно не оказалось экономически невыгодным, проектно-конструкторское бюро (ПКБ) должно тщательно разработать его проект. Процесс проектирования судов разделяется на стадии: проработка технического задания, разработка технического предложения, эскизный проект, технический проект, выпуск договорной документации, разработка рабочих и технологической, сдаточной и эксплуатационной документации.

*Техническое задание* является результатом решения так называемой внешней задачи проектирования, когда выполняется оптимизация пополнения флота и основных характеристик судна, входящих в задание на разработку проекта. Выявляются принципиальные направления развития флота и обеспечивается соответствие планируемой работы (например, объема перевозок для грузовых судов) имеющимся ресурсам. Базой для подобных исследований служит информация о состоянии и тенденциях развития мирового и отечественного судоходства, торговли, судострое-



ния, транспортной технологии, а также данные о структуре перевозимых грузов, технологии грузовых работ, параметрах портовых сооружений, условиях плавания. В результате устанавливаются оптимальные (наиболее рациональные) типы судов и их количество, обеспечивающие минимальные затраты на пополнение и эксплуатацию флота. Все перечисленные вопросы изучаются и решаются в научно-исследовательских институтах ведомств-заказчиков или непосредственно заказчиком.

В выработанное техническое задание включаются характеристики величин, которые определяют основные эксплуатационно-технические свойства судна, например, назначение, тип и класс судна; район, дальность плавания и автономность; скорость, мощность и тип энергетической установки (ЭУ); характер груза и требования к грузоподъемности, грузоместимости, пассажироместимости и т. д.

Утвержденное техническое задание служит основанием для предэскизного проектирования. ПКБ-проектант судна начинает работу с предварительного определения главных размерений и обоснования других характеристик судна, примерно удовлетворяющих заданию. Затем проводятся расчеты и выполняются эскизы — упрощенные чертежи судна, которые позволяют проверить выполнимость и совместимость требований и ограничений технического задания, возможность комплектации судна основным оборудованием, выявить необходимость разработки и освоения новых видов оборудования. Уточнение расчетов и детализация эскизов проводятся *методом последовательных приближений*: сначала берется среднестатистическое значение ранее неизвестной характеристики, а затем требуемое значение определяется из соответствующих уравнений теории проектирования судов. В случае необходимости может применяться и метод вариантов: задается несколько значений исследуемой характеристики и выбирается тот вариант, в котором, получается наилучшее (оптимальное) сочетание качеств судна. Процесс поиска оптимального варианта называется *оптимизацией характеристик*. Выбранное в результате предэскизного проектирования решение служит основанием для разработки *технического предложения*. После его экспертизы, согласования и утверждения заказчиком начинается эскизное проектирование.

*Эскизный проект* предназначен для расчета основных характеристик судна и его систем и обоснования оптимального варианта судна, наиболее полно отвечающего требованиям задания. При этом большое внимание уделяется разработке вариантов по архитектуре и конструкции судна, проводится оптимизация характеристик как судна в целом, так и его отдельных составных частей. Для создания оптимального теоретического чертежа проводятся испытания моделей в опытовом бассейне, отрабатываются на макетах вопросы рациональной компоновки помещений.

Кроме того, определяются условия постройки судна, обосновываются главные технологические решения, выявляются необходимое новое оборудование и материалы. После утверждения лучшего варианта эскизного проекта принимают решение о постройке судна и начале этапа технического проектирования.

При разработке *технического проекта* принимаются окончательные конструктивные и технологические решения по корпусу, энергетической установке, оборудованию судовых помещений, комплектации механизмов, устройств и систем и т. и. Разрабатывают принципиальную технологию и сетевой график постройки применительно к конкретному заводу-строителю, составляют заказные ведомости на оборудование и материалы, определяют необходимые мероприятия по подготовке производства, выпускают *договорную документацию*, в которую включают спецификации (подробное техническое описание судна и его составных частей), чертежи и смету на постройку. Технический проект представляется на экспертизу в Российский Морской Регистр Судоходства — организацию, контролирующую осуществление в проекте рекомендаций международных организаций и соглашений (конвенций) по охране человеческой жизни на море, мероприятий по обеспечению пожаровзрывобезопасности, требований по предотвращению загрязнения моря судами и др.

После этого приступают к изготовлению *рабочей и технологической документации*, необходимой для распределения работ между цехами, изготовления приспособлений, организации работы в цехах-изготовителях и монтажа оборудования на судне. Эти чертежи согласуются с представителями завода-строителя для учета особенностей технологии и организации производства. Группа главного конструктора ведет на заводе наблюдение за выполнением всех проектных рекомендаций, участвует в испытаниях и сдаче судна, по результатам которых дорабатываются выпущенные чертежи и документации, а также корректируются чертежи для постройки серийных судов.

Выпущенная ПКБ-проектантом *сдаточная документация* должна обеспечить возможность организации и успешного проведения заводских и сдаточных испытаний. В завершающий период выпускается значительный объем *эксплуатационной документации*, необходимой для правильного использования, оперативного и технического обслуживания судна в целом и всех его механизмов, устройств и систем. Эксплуатационная документация включает в себя документацию для обучения личного состава, различного рода инструкции, схемы помещений, систем и устройств, демонстрационные чертежи и т.п.

## 7.2 Технологические схемы постройки судов

Технологические схемы постройки судов определяются методами постройки судов и способами формирования их корпуса.

Методы постройки судов не являлись постоянными, а совершенствовались по мере развития науки и техники. От истоков металлического судостроения (первая железная баржа была построена в 1789 г., а первое железное морское судно в 1843 г.) и до 30-х годов нашего столетия единственным методом постройки судов был *подетальный*. Корпус судна собирался на построечном месте из деталей, масса которых обычно не превышала 2—3 т. Детали соединялись между собой с помощью заклепок. Естественно, что до начала формирования корпуса никакие монтажные работы на судне не производились. Это удлиняло сроки его постройки.

Новый этап в развитии методов постройки судов был связан с появлением электросварки. Первое отечественное сварное судно (морской катер) было построено в 1931 г. во Владивостоке. Переход к сварному судостроению создал условия для освоения *секционного метода* постройки судов, при котором корпус судна собирается из заранее изготовленных деталей, узлов и секций. По мере формирования помещений в них производятся монтажные и другие работы. Освоение сварки и создание соответствующего оборудования способствовали увеличению массы секций, которая достигла в настоящее время 500 т и более. Секционный метод создал предпосылки для переноса в цеховые условия не только значительной части корпусных, связанных с изготовлением узлов и секций, но и монтажных работ.

Корпус судна при секционном методе постройки может формироваться пирамидальным или островным способами.

Дальнейшая реализация принципа увеличения массы элементов корпуса, подаваемых на построечное место, и увеличения объема их насыщения привела к созданию *блочного метода*. В этом случае на построечном месте выполняют главным образом лишь сборку и сварку монтажных стыков блоков и производят другие работы в районе данных стыков. Формирование же самих блоков и их насыщение механизмами, системами, устройствами и т. п. осуществляют вне построечного места.

При блочном методе изготовленные заранее блоки, начиная с закладного (первого), подаются на построечное место (рис.91). В качестве закладного принимают блок, начало формирования судна с которого обеспечивает минимальную продолжительность его постройки. В большинстве случаев в качестве закладного принимают блок машинного отделения. Сваривают монтажный стык блоков только после окончания всех сборочных работ по данному стыку. Блочный метод обеспечивает широ-

кий фронт работ с наименьшим временем нахождения судна на построечном месте.

Неразрывно с технологией связана *организация производства*. В настоящее время в судостроении применяют три следующих метода организации производства при постройке судов: позиционный, поточно-бригадный и поточно-позиционный.

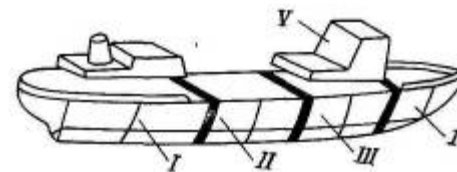


Рисунок 91 - Блочный метод постройки судна. I—IV—блоки корпуса; V—блоки надстроек.

На выбор варианта схемы постройки судов влияет большое число различных факторов, среди которых важнейшее значение имеет тип построечного места. *Построечным местом* называется площадка, специально оборудованная для постройки судна и спуска его на воду. В зависимости от положения строящегося судна все построечные места подразделяются на горизонтальные и наклонные. Из них более предпочтительными являются горизонтальные. По сравнению с наклонными они имеют ряд преимуществ: упрощаются проверочные и сборочные работы (при горизонтальном положении судна); значительно упрощаются работы по спуску судна на воду; расширяются возможности оборудования построечных мест средствами механизации, а также сооружения эллинга — специального здания над построечным местом, которое позволяет организовать работы независимо от метеорологических условий.

## 7.3 Эксплуатация судна

В практике торгового мореплавания применяют две формы организации судоходства: рейсовое и линейное плавание. *Суда рейсового (трампового) плавания* могут работать на разных направлениях с заходами в каждом рейсе в другие порты в зависимости от условий (договора) перевозки на рейс. Более прогрессивной формой организации коммерческой эксплуатации флота является линейное судоходство. *Суда линейного плавания* работают на постоянных направлениях (линиях) грузоперевозок между определенными портами по расписанию и по специальным линейным тарифам.

При линейном плавании обеспечивается ритмичность работы флота и портов, снижаются простои судов, упрощается работа диспетчерского

аппарата, облегчается труд экипажей судов и работников портов. В итоге увеличивается провозоспособность флота и снижаются эксплуатационные расходы.

По видам плавания различают малый и большой каботаж и заграничное плавание. Перевозка грузов и пассажиров между портами одной и той же страны в пределах одного или смежных морских бассейнов называется *малым каботажем*. Если грузоперевозки осуществляются между портами одной и той же страны, расположенными в разных морях, то говорят о *большом каботаже*. Плавание между советскими и иностранными портами называется *заграничным*. При этом заграничное плавание может быть экспортного и импортного направления и между иностранными портами.

Форма организации эксплуатации судна должна учитываться уже на самых начальных этапах проектирования, так как от нее зависят выбор скорости, запас мощности главного двигателя, состав и характеристики грузового устройства, степень приспособленности к погрузочно-разгрузочным операциям и т. д. Вид плавания влияет на характер и объем требований и ограничений, налагаемых на судно международными конвенциями, нормами и правилами Российского Морского Регистра Судоходства, а также других нормативных организаций.

#### **7.4 Классификационные общества и требования международных конвенций**

Важно не только рационально спроектировать судно, но и правильно его эксплуатировать. Тысячелетний опыт эксплуатации судов позволил выработать определенные правила, с помощью которых судоводители ориентируются при попадании в жестокий шторм и обледенение, при маневрировании в узкостях и в прибрежной зоне и т. д. Тем не менее тяжелые аварии из-за потери остойчивости и прочности, столкновения и пожара, от неудовлетворительной работы оборудования и нарушения норм морской практики все еще напоминают о необходимости повышения безопасности мореплавания и совершенствования методов проектирования и постройки судов.

В прошлом техническое состояние и характеристики судов при выходе в рейс устанавливали специальные эксперты, состоящие на службе у страховых компаний. Позже возникли объединения экспертов, разделяющие все суда на классы в зависимости от их мореходности. Первый такой печатный перечень был издан в 1764 г. Регистром Ллойда в Англии - первым классификационным обществом, основанным в 1760 г. Другим старейшим обществом является французское Бюро Веритас, возникшее в 1828 г. В России классификация судов впервые была введена в 1898 г., а в

1914 г. организовано национальное классификационное общество «Русский Регистр». В 1923 г. в СССР был создан единый государственный орган – Регистр СССР, впоследствии переименованный в Российский Морской Регистр Судоходства.

В связи с гибелью пассажирского лайнера «Титаник» в 1912 г. был проведен ряд международных конференций по безопасности мореплавания и приняты соответствующие конвенции. В первом соглашении 1914 г. морские державы установили минимальные требования к безопасности, которые были заменены Лондонской конвенцией по охране человеческой жизни на море 1929 г., пересмотренной в 1948 г. и в 1960 г. Следующие изменения были разработаны в 1972 г. и распространены на все суда государств-участников договора. Эти требования сводятся к следующему.

В первую очередь они касаются вопросов текущего осмотра и проверок судов, энергетической установки, устройств и оборудования для составления свидетельств о безопасности. Регламентируется разделение судна на водонепроницаемые отсеки, в том числе и переборками фор- и ахтерпика, машинного отделения, туннеля гребного вала и двойного дна. Содержатся требования к остойчивости поврежденных судов и указания по составлению необходимой документации по остойчивости, а также планов обеспечения безопасности при поступлении воды в помещения машин и энергетических установок. Среди других требований следует отметить обеспечение надежности закрытий в водонепроницаемых переборках и наружной обшивке, требования к водоотливным системам и противопожарной защите, обнаружению и тушению пожаров на пассажирских и грузовых судах. Сюда также относятся вопросы оборудования судов спасательными средствами, телеграфными и радиотелефонными установками.

Международное сотрудничество по вопросам безопасности в области судостроения и судоходства в настоящее время осуществляет Межправительственная морская организация (ИМО), созданная в рамках ООН после второй мировой войны.

Все страны с развитым морским судоходством имеют свои классификационные общества, издаваемые национальные Правила классификации и обеспечения безопасности мореплавания. Эти общества осуществляют проверку документации и классификационные осмотры находящихся в эксплуатации судов, приемку судов на верфях и надзор за постройкой новых, ремонтом и переоборудованием старых судов.

Помимо этого классификационные общества занимаются разработкой и изданием новых правил.

Надзор ведется на основании технической документации (чертежей, расчетов, описаний), содержащей все необходимые данные для оценки

прочности и надежности судна в целом или отдельных его установок и оборудования. При этом корпус и подлежащие классификации механизмы, устройства и оборудование должны соответствовать требованиям, имеющим юридическую силу. После проверки удовлетворения всем правилам судну присваивают класс: подтверждением которого производят регулярные классификационные осмотры. Наряду с ними после аварии, пожара или другого повреждения проводят специальные смотры, позволяющие дать заключение о дальнейшем использовании судна.

Классификация подтверждается присвоением судну класса и составлением классификационных документов, которые передаются судовладельцу (капитану). Классификационные общества ежегодно публикуют списки судов, которым присвоен соответствующий класс.

Разработка и издание правил необходимы для совершенствования деятельности классификационного общества и учета новых данных об уровне требований к безопасности судна, полученных на основе опыта проектирования, постройки и эксплуатации судов.

В ИМО ведется работа по накоплению и обобщению материалов использования национальных требований к безопасности судов и созданию единых международных правил.

#### Символ класса Российского Морского Регистра



Основным символом класса Российского Морского Регистра является знак  или , с добавлением символов **КМ**, **КЕ** или **К**. Возможны следующие комбинации этих символов (см. табл. .1)

Таблица 1.

	Самоходные суда	Несамоходные суда с общей мощностью первичных двигателей 100 кВт и более	Прочие несамоходные суда
Судно построено по Правилам и под надзором Регистра	КМ 	КЕ 	К 
Судно построено по Правилам и под надзором другого, признанного Регистром классификационного общества	КМ 	КЕ 	К 
Судно построено без надзора признанного Регистром классификационного общества или вообще без надзора	(КМ) 	(КЕ) 	(К) 

К основному символу добавляются дополнительные знаки.




Знак *категории ледовых усилений* (КЛУ) в символе класса показывает, что судно приспособлено для плавания во льдах. По степени сплошности различают: *разреженный* лед – в котором отдельные льдины не

соприкасаются между собой; *сплоченный* – отдельные льдины, соприкасаясь образуют перемычки; *сплошной* – ледовое поле.

Для ледоколов должен быть указан один из знаков КЛУ:

- **ЛЛ6** – плавание в портовых и припортовых акваториях, а также в арктических морях при толщине льда до 1,5 м. Способен продвигаться в сплошном ледовом поле толщиной до 1 м;
- **ЛЛ7** – плавание в прибрежных районах арктических морей зимой и весной при толщине льда до 2 м, летом и осенью при толщине льда до 2,5 м. Суммарная мощность ЭУ не менее 11 МВт. Способен продвигаться в сплошном ледовом поле толщиной до 1,5 м;
- **ЛЛ8** – плавание в прибрежных районах арктических морей зимой и весной при толщине льда до 3 м, летом и осенью без ограничений. Суммарная мощность ЭУ не менее 22 МВт. Способен продвигаться в сплошном ледовом поле толщиной до 2 м;
- **ЛЛ9** – плавание в арктических морях зимой и весной при толщине льда до 4 м, летом и осенью без ограничений. Суммарная мощность ЭУ не менее 48 МВт. Способен продвигаться в сплошном ледовом поле толщиной до 2,5 м.

Для самоходных судов (кроме буксиров) может быть указан один из знаков КЛУ:

- **ЛУ1** – эпизодическое плавание в разреженном мелкобитом льду, толщиной до 0,4 м;
- **ЛУ2** - плавание в разреженном мелкобитом льду, толщиной до 0,55 м;
- **ЛУ3** - плавание в разреженном мелкобитом льду, толщиной до 0,7 м;
- **ЛУ4** - плавание в разреженном льду, толщиной до 0,8 м, преодоление ледовых перемычек непрерывным ходом;
- **ЛУ5** - плавание в разреженном льду, толщиной до 1,0 м, преодоление ледовых перемычек непрерывным ходом;
-  **ЛУ6** - плавание в разреженном льду, толщиной до 1,3 м, преодоление ледовых перемычек непрерывным ходом;
- **ЛУ7** - плавание в сплоченном льду, толщиной до 1,7 м, эпизодическое преодоление ледовых перемычек набегами;
-  **ЛУ8** - плавание в сплоченном льду, толщиной до 3,1 м, регулярное преодоление ледовых перемычек набегами;
- **ЛУ9** - плавание в сплоченном и сплошном льду, толщиной до  4,0 м, регулярное преодоление ледовых перемычек и эпизодически сплошных льдов набегами.

Категории ЛУ1 – ЛУ3 образуют группу *неарктических* а, ЛУ4 –

ЛУ9 – *арктических* категорий. Для буксиров в символ класса должен быть добавлен один из знаков ЛУ2 – ЛУ5. Для несамходных судов знак КЛУ не указывается.

Знаки *деления на отсеки*, указывают на способность судна сохранять *плавучесть* в случае аварии, при затоплении: **1** - одного любого отсека, **2** - любых двух смежных отсеков **3** - любых трех смежных отсеков.

Если в символе класса нет знака *ограничения района плавания*, то это означает, что у судна неограниченный район плавания. В противном случае:

- **I** – удаление от берега не более 200 миль, с расстоянием между местами убежища не более 400 миль, высота волны до 8,5 м;
- **II** – удаление от берега не более 100 миль, с расстоянием между местами убежища не более 200 миль, высота волны до 7 м;
- **IIСП** – удаление от берега в открытых морях не более 50 миль, с расстоянием между местами убежища не более 100 миль, в закрытых морях удаление от берега не более 100 миль, с расстоянием между местами убежища не более 200 миль, высота волны до 6 м;
- **IIIСП** – удаление от берега не более 50 миль, высота волны до 3,5 м;
- **III** – портовое, рейдовое и прибрежное плавание.

Для плавучих кранов удаление от берега и расстояние между убежищами устанавливаются в каждом конкретном случае;

Если судно оснащено автоматизированными системами контроля за работой энергетической установки, то в символ класса могут быть добавлены следующие знаки *автоматизации*:

- **A1** – для самоходных судов, эксплуатация которых возможна без постоянной вахты в машинном отделении и на центральном посту управления. Для пассажирских и специальных судов с количеством спецперсонала на борту более 200 человек знак A1 не присваивается;
- **A2** – для самоходных и несамходных судов, эксплуатация которых возможна одним оператором из центрального поста управления без постоянной вахты в машинном отделении;
- **A3** – для самоходных и несамходных судов с мощностью главных двигателей до 2250 кВт, эксплуатация которых возможна без постоянной вахты в машинном отделении.

Если самоходное судно оборудовано автоматизированные системами навигации, то к символу класса может быть добавлен знак *управления одним вахтенным на мостике* – (**ОВНМ**).


Если судно оборудовано *средствами борьбы с пожарами на других*

*судах или береговых объектах*, то, в зависимости от оснащенности этими средствами, к символу класса добавляется знак **П1В, П1, П2В, П2, П3В**.

Кроме условных знаков символ класса может содержать следующие словесные характеристики судна: *атомно-технологического обслуживания* (АТО), *буксир, буровое, газовоз, грунтоотвозное, земснаряд, катамаран, контейнеровоз, крановое, лесовоз, навалочное, накатное, наливное, наплавное, нефтеналивное, нефтесборное, пассажирское, плавучая буровая установка* (ПБУ), *плавдок, плавкран, понтон, рудовоз, рыболовное, спасатель, специального назначения, стоечное, судно обеспечения, судовая баржа, химовоз, прогулочное* и пр. или их комбинации, например *нефтерудовоз*.

Если нефтеналивное или нефтесборное судно отвечает правилам, предъявляемым к судам, перевозящим нефтепродукты с температурой вспышки выше 60<sup>0</sup>С, то в символ класса обязательно добавляется знак (>60<sup>0</sup>С).

Для рудовозов, химовозов, навалочных и нефтеналивных судов после словесной характеристики обязательно добавляется знак (**ОРП**), что указывает на необходимость освидетельствования этих судов по расширенной программе.

В символ класса судна имеющего атомную энергетическую установку добавляется знак .

Транспортным судам, предназначенным для *перевозки охлажденных грузов* в специальных помещениях или контейнерах и имеющим холодильную установку для этих помещений или контейнеров, к символу класса добавляется знак **РЕФ**.

## **7.5 Учет требований по охране окружающей среды при проектировании, постройке и эксплуатации.**

Вопросы охраны природы и рационального использования природных ресурсов имеют чрезвычайно важное значение при формировании современного инженера. Выпускник вуза должен представлять, какие именно загрязнители окружающей среды характерны для судостроительного производства, а главное — ощутить потребность в приобретении необходимых знаний по борьбе с загрязнением и созданию экологических технологий. Основными вредными выбросами судостроительных заводов являются неочищенные и необезжиренные отходы гальванического производства, кислоты и щелочи, отходы лакокрасочного производства, нефтепродукты и др. Загрязнение воздуха происходит от газовой сварки и газовой резки, металлургического и кузнечного производства, паров растворителей, стеклопластиков, изоляционных и других судостроительных материалов.

Наибольшую опасность для ресурсов Мирового океана и человечества в целом представляют загрязнение вод нефтепродуктами и радиоактивными веществами, практика захоронения которых в открытых океанах и морях получила большое распространение.

Ежегодно в Мировой океан попадает около 2 млн. т нефти за счет утечки во время ее добычи на континентальном шельфе и морских перевозок. Особенно большие концентрации нефтепродуктов возникают при авариях танкеров и морских буровых установок. Значительное количество нефти сбрасывается в море при очистке танков от остатков нефтепродуктов.

Немалая доля в загрязнении морской воды принадлежит нефтяным промыслам в связи с возрастающим количеством нефти, добываемой в океане. Если даже допустить, что менее 5 % нефти в условиях морских промыслов подвержено утечке, то и в этом случае десятки миллионов тонн ее попадает в океан.

Нефтяные пленки на поверхности океанов и морей значительно ухудшают аэрацию воды, что приводит к образованию застойных сероводородных зон, загрязнению дна и уничтожению организмов, обитающих на грунте морских и материковых водоемов. Нефтяное загрязнение губит пляжи и приводит к пожарам.

Гораздо большие количества вредных веществ попадают в моря в результате сброса отходов производства, канализации и др. Уже сейчас можно выделить районы длительного местного загрязнения, периодического загрязнения и возможного загрязнения нефтью или вредными грузами вдоль судоходных линий.

Особенно большую опасность для ресурсов Мирового океана представляет сброс отходов химической промышленности. Сточные воды, загрязняющие шельфовую зону, токсичные вещества, оказывают губительное влияние на флору и фауну морей.

Все это свидетельствует о том, что Мировой океан находится в опасности и необходимы усилия всего человечества, чтобы эту опасность предупредить.

Заключенная в 1973 г. Международная конвенция по предотвращению загрязнения моря судами содержит требования по защите окружающей среды. Сформулированы ограничения загрязнения моря нефтью и другими жидкими и твердыми вредными веществами, предложены конкретные меры со сливом льяльных вод и сбрасыванием в море судовых отбросов. Введены специальные требования к танкерам, касающиеся применения системы отстойных танков для отделения нефти от загрязненных балластных вод, а также устройства отдельных грузовых и чисто балластных танков. Суда, перевозящие химикалии, сжиженные газы и другие

вредные вещества, оборудуются устройствами, предотвращающими загрязнение окружающей среды.

Для бассейна Балтийского моря с 1974 года действует региональная конвенция по охране Балтийского моря от загрязнения, принятая в Хельсинки всеми балтийскими странами.

В настоящее время усиливаются требования к предотвращению загрязнения портов, предусматривающие наличие в портах достаточных емкостей для слива с судов вредных стоков и обеспечения их утилизации. Предусматриваются меры, исключаящие аварии или ограничивающие их последствия при производстве грузовых операций с рейдовых нефтеперегрузочных буюв, при эксплуатации морских нефтескважин и морских буровых установок. Разрабатываются действенные методы ограничения растекания нефти по поверхности воды и установки в портах нефтезаградительных бон. Совершенствуется техника мойки грузовых танков.

Эффективное решение проблемы предотвращения загрязнения моря возможно только при комплексном подходе к общей проблеме защиты окружающей среды.

## 7.6 Ремонт судов

В процессе эксплуатации судно подвергается значительным волновым и ветровым нагрузкам. Воспринимая эти нагрузки, корпус судна постепенно изнашивается (стареет).

Удары волн и частая швартовка, особенно в открытом море, приводят к возникновению деформаций отдельных судовых конструкций. При длительном плавании корпус судна довольно быстро обрастает микроорганизмами и покрывается бугорками и неровностями. Это приводит к постепенному росту сопротивления и снижению скорости хода. Наблюдения показывают, что через 1—2 года плавания влияние обрастания наружной обшивки может вызвать уменьшение эксплуатационной скорости не только на несколько узлов, но и в 1,5—2,0 раза. Обрастание особенно интенсивно в районе переменной ватерлинии при плавании в теплых морях. Борьба с обрастанием состоит в тщательной очистке поверхности судна при постановке в док и применении специальных красок, содержащих ядохимикаты.

Особенно большой ущерб судостроению наносит *коррозия*, ежегодно безвозвратно уносящая сотни тысяч тонн металла. Коррозии подвержены не только наружная обшивка и выступающие части (винты, рули и др.), но и набор корпуса, палубные и судовые механизмы и устройства. Коррозия связана с разрушением металла от химического и электрохимического воздействия внешней среды. В наибольшей степени химической коррозии подвержены внутренние поверхности танков нефтеналивных

судов, а электрохимической, возникающей за счет образования гальванических пар, районы переменной ватерлинии и работы гребных винтов, нижние пояся водонепроницаемых переборок и т. д. В качестве средств борьбы с химической коррозией используют специальные вещества — ингибиторы, способствующие образованию на поверхности конструкции защитной пленки. Для снижения электрохимической коррозии применяют лакокрасочные покрытия, катодную и протекторную защиту корпусов судов.

Износ корпуса, механизмов и оборудования в процессе эксплуатации приводит к нарушению нормальной эксплуатации судна, работы энергетической установки, устройств и систем. В таких условиях происходит снижение технических характеристик судна и возникает опасность аварии. В результате судно может потерять класс, присвоенный при его постройке.

Для поддержания нормальной эксплуатации, восстановления конструкций, деталей, механизмов суда периодически ремонтируют. Часть ремонтных работ выполняют судовыми средствами и силами экипажа. Такие работы составляют небольшой объем и не требуют вывода судна из эксплуатации. При крупных ремонтах (замена листов наружной обшивки и набора корпуса, ремонт трубопроводов и механизмов, очистка и окраска подводной части корпуса) судно выводят из эксплуатации и ставят на ремонт.

Ремонтные работы производят либо специализированные судоремонтные предприятия, либо обычные судостроительные заводы, оснащенные мощными судоподъемными средствами (продольные и поперечные слипы, плавучие и сухие доки). Подъем судов на слипы осуществляют на тележках, перемещающихся по рельсам с помощью лебедок. Ограниченные возможности слипов позволяют вести ремонт только малых судов небольшого водоизмещения. В плавучие доки суда заводят буксиром. Для этого док сначала притапливают и после ввода судна балласт откачивают и судно постепенно садится на кильблоки. Процесс постановки судна в док завершается после полной откачки балласта и всплытия дока. В результате судно полностью выходит из воды и оказывается стоящим на кильблоках. Постановку судна в сухой док осуществляют с помощью мощных шпилей или лебедок. После ввода судна в док ворота закрывают, вода откачивается и судно постепенно садится на кильблоки.

Для производства ремонта обычно однотипные суда закрепляют за определенными судоремонтными предприятиями. Ремонт ведется по плану, поэтому предприятие заранее готовит определенные детали или узлы до постановки судна в док. Для сокращения сроков ремонта используют агрегатный метод, позволяющий предприятию создать обменный фонд

механизмов. В случае поломки или неисправности изношенный механизм снимают с судна и на его место ставят новый или отремонтированный заранее механизм, а снятый ремонтируют и ставят на следующее судно. Наблюдение за правильной эксплуатацией судна и его ремонтом ведет Российский Морской Регистр судоходства.

## 8 ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Вариант принимается по номеру студента в списке группы. Первая задача относится к п. 4 данного методического пособия. Вторая задача к п. 5.1, третья к п.5.2, четвертая к п. 5.3, пятая к п.

### Вариант 1.

1. Танкер при объемном водоизмещении  $V = 10\,000\text{ м}^3$  имеет главные размерения: длина по КВЛ  $L = 120,0\text{ м}$ , ширина  $B = 16,0\text{ м}$ , осадка  $T = 7,0\text{ м}$  площадь грузовой ватерлинии  $S = 1\,550\text{ м}^2$ , площадь мидель-шпангоута (погруженной части)  $\omega = 110\text{ м}^2$ . Вычислить коэффициенты полноты  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\varphi$ ,  $\chi$ .

2. На судно принято 10 контейнеров, при этом он не получил ни крена, ни дифферента. Вес одного контейнера 15 т. Осадка судна до приема груза составляла  $T = 4,5\text{ м}$ , а площадь ватерлинии  $S = 1\,470\text{ м}^2$ . Какова новая осадка судна? При решении задачи судно в пределах изменения осадки считать прямостенным. Удельный вес воды  $\gamma = 1,025\text{ т/м}^3$ .

3. Найти угол крена  $\Theta$  и изменение осадки борта  $\Delta T$  судна (см. рис. 92) от переноса груза  $P = 20\text{ т}$  с диаметральной плоскости на борт на расстояние  $\Delta y = 5,0\text{ м}$ , если водоизмещение судна  $D = 5000\text{ т}$ , ширина  $B = 12,0\text{ м}$ , а начальная поперечная метацентрическая высота  $h = 0,5\text{ м}$ .

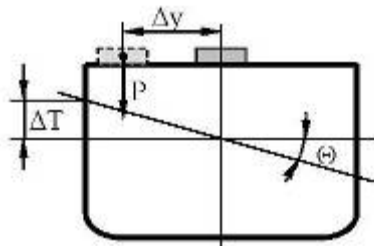


Рисунок 92

4. Определить изменение средней осадки судна, если объем затопленного а). машинного отделения, б). грузового трюма, в). пустого отсека,  $v = 800\text{ м}^3$ , площадь ватерлинии  $S = 1160\text{ м}^2$ , а свободная поверхность воды в затопленном отсеке имеет размеры  $l = 16,0\text{ м}$ ,  $b = 10,0\text{ м}$ .

5. Для полной скорости хода корабля  $v_s = 18\text{ уз}$  определены безразмерные коэффициенты сопротивления: трения  $\xi_r = 1,72 \cdot 10^{-3}$ , остаточного сопротивления  $\xi_{oc} = 1,98 \cdot 10^{-3}$ , шероховатости  $\xi_{ш} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ . Определить сопротивление воды  $R$ , буксировочную мощность  $N_б$  и мощность главных механизмов  $N$ , необходимую для движения с указанной выше скоростью,

если площадь смоченной поверхности  $\Omega = 2555\text{ м}^2$ , а пропульсивный коэффициент  $\eta_{пр} = 0,6$ .

### Вариант 2.

1. Корабль имеет длину  $L = 100,0\text{ м}$ , отношение длины к ширине  $L/B = 10,0$ , отношение ширины к осадке  $B/T = 2,50$ . коэффициент общей полноты  $\delta = 0,500$ , коэффициент полноты площади ватерлинии  $\alpha = 0,700$  и коэффициент полноты площади мидель-шпангоута  $\beta = 0,800$ . Найти площадь ватерлинии  $S$ , площадь мидель-шпангоута  $\omega$  и объемное водоизмещение корабля  $V$ .

2. Для постановки судна в док необходимо уменьшить его осадку до  $T_1 = 8,3\text{ м}$ . Какое количество грузов необходимо для этого снять с судна, если его первоначальная осадка  $T_0 = 9,0\text{ м}$ , площадь конструктивной ватерлинии  $S = 5\,500\text{ м}^2$ , а удельный вес воды  $\gamma = 1,025\text{ т/м}^3$ .

3. Судно, плавая в пресной воде, имеет следующие элементы:  $L = 100,0\text{ м}$ ,  $B = 10,0\text{ м}$ ,  $T = 3,0\text{ м}$ ,  $h = 0,5\text{ м}$ ,  $\delta = 0,750$ . Вследствие неравномерного приема грузов возник крен, и один из бортов вошел в воду на  $\Delta T = 3,5\text{ м}$  (см. рис. 92). Определить, сколько груза надо перенести к другому борту на расстояние  $\Delta y = 4,0\text{ м}$ , чтобы выровнять судно.

4. Судно, имеющее площадь грузовой ватерлинии  $S = 225\text{ м}^2$ , высоту борта  $H = 4,2\text{ м}$  и осадку  $T_0 = 3,6\text{ м}$ , получило пробоину посередине длины, в трюме размерами  $l = 7,5\text{ м}$ ,  $b = 6,0\text{ м}$  и объемом по ГВЛ  $v = 144\text{ м}^3$ . Определить аварийную осадку судна  $T$  если а). поврежденный отсек закрыт сверху на уровне ГВЛ, б). поврежденный отсек открыт сверху.

5. Остаточное сопротивление (с учетом шероховатости поверхности корпуса) судна при движении судна со скоростью  $v_s = 15\text{ уз}$  длиной  $L = 115,0\text{ м}$  и с площадью смоченной поверхности  $\Omega = 2250\text{ м}^2$ , составляет  $R_{ост} = 392,4\text{ кН}$ . Вычислить буксировочную мощность  $N_б$  и эффективную мощность  $N$ , если пропульсивный коэффициент  $\eta_{пр} = 0,60$ .

### Вариант 3.

1. Грузовое судно имеет объемное водоизмещение  $V = 8\,100\text{ м}^3$ , отношения  $L/B = 8,00$ ,  $B/T = 2,50$  и коэффициент общей полноты  $\delta = 0,750$ . Чему равны главные размерения  $L$ ,  $B$  и  $T$ ?

2. Судно с площадью грузовой ватерлинии  $S = 1\,000\text{ м}^2$  при отливе село на мель в воде с удельным весом  $\gamma = 1,025\text{ т/м}^3$ . С какой силой давит судно на грунт, если борт его вышел из воды в среднем на  $0,5\text{ м}$ ?

3. Пароход водоизмещением  $D = 700\text{ т}$  имеет ширину  $B = 9,0\text{ м}$  и начальную метацентрическую высоту  $h = 0,4\text{ м}$ . Найти угол крена  $\Theta$  и изменение осадки борта  $\Delta T$  от перемещения 100 пассажиров к борту на расстояние  $\Delta y = 4,0\text{ м}$ . Массу одного человека принять  $p = 80\text{ кг}$ . Решить задачу для плавного перемещения пассажиров к борту и для быстрого (ди-



намического) перемещения, считая, что диаграмма статической устойчивости имеет при этих углах крена прямолинейный характер.

4. Для проектируемого судна определены основные элементы  $L = 80,0$  м,  $B = 12,0$  м,  $T = 4,5$  м  $\delta = 0,750$ ,  $\alpha = 0,850$ ,  $\beta = 0,980$ . Машинное отделение расположено посередине судна в районе цилиндрической вставки так, что абсцисса центра тяжести этого отсека примерно совпадает с абсциссой ЦВ. Переборки машинного отделения доходят до верхней палубы, борт судна в средней его части вертикален (рис.93). Определить предельную допустимую длину машинного отделения  $l_{пр}$ , если при его затоплении должен оставаться надводный борт  $h_{ав} = 0,1$  м, а коэффициент проницаемости  $\mu = 0,85$ . Фактор подразделения судна  $F = 0,66$ .

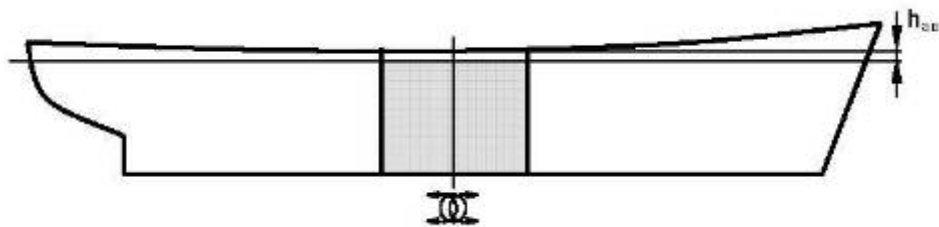


Рисунок 93

5. Определить по формуле адмиралтейских коэффициентов эффективную мощность корабля при полном ходе со скоростью  $v_s = 30$  уз и при экономическом ходе со скоростью  $v_{s,эк} = 20$  уз, если водоизмещение  $D = 2500$  т. Для полного хода адмиралтейский коэффициент принять равным  $C = 180$ , а для экономического -  $C_{эк} = 230$ . Определить также число Фруда для полного и экономического хода, если длина корабля  $L = 110,0$  м.

#### Вариант 4.

1. При осадке  $T = 6,0$  м судно имеет объемное водоизмещение  $V = 8000$  м<sup>3</sup>. Коэффициент общей полноты  $\delta = 0,700$ . Площадь мидель-шпангоута  $\omega = 85$  м<sup>2</sup>, коэффициенты полноты  $\beta = 0,970$ . Найти длину и ширину судна.

2. Глубина речного фарватера равна 1,0 м. На сколько необходимо разгрузить речное грузовое судно, если его элементы таковы:  $L = 60,0$  м,  $B = 8,5$  м.  $T = 1,05$  м,  $\alpha = 0,800$ . Зазор между днищем и ложем фарватера должен быть не менее 0,1 м.

3. У корабля имеющего осадку  $T = 6,0$  м и плавающего без крена и дифферента момент кренящий на один градус  $m_k = 34$  тм, момент дифферентующий на 1 см  $m_d = 159$  тм/см. Определить угол крена и осадки носом и кормой после приложения момента  $M = 680$  тм. Считать, что центр

тяжести действующей ВЛ проходит через мидель-шпангоут.

4. Определить предельный допустимый объем закрытого сверху на уровне ГВЛ отсека  $v_{пр}$  при расстоянии его центра тяжести  $x = 20,0$  м от ЦТ судна с тем, чтобы после затопления отсека в носу оставался надводный борт не менее 0,1 м. Элементы судна:  $L = 100,0$  м,  $B = 15,0$  м,  $T = 6,0$  м  $\delta = 0,650$ ,  $\alpha = 0,800$ . Высота борта в носу  $H_n = 9,1$  м. Центр тяжести ГВЛ смещен в корму от мидель-шпангоута на расстояние 3,0 м. Продольная метацентрическая высота  $N = 110,0$  м.

5. Грузовое судно имеет мощность главных механизмов  $N = 3000$  кВт при скорости хода  $v_s = 14$  уз. При условии, что водоизмещение судна не меняется определить мощность механизмов  $N_1$ , которая потребуется для увеличения скорости хода до 15 уз. При решении задачи считать, что адмиралтейский коэффициент остается неизменным.

#### Вариант 5.

1. Площадь ватерлинии судна  $S = 1000$  м<sup>2</sup>. Определить длину и ширину судна, если коэффициент полноты площади ватерлинии  $\alpha = 0,695$ , а отношение  $L/B = 10,00$ .

2. Найти число тонн на 1 см осадки для случая плавания судна в пресной и соленой воде ( $\gamma = 1,025$  т/м<sup>3</sup>), если известно, что длина судна  $L = 100,0$  м, ширина  $B = 15,0$  м, а коэффициент полноты площади КВЛ  $\alpha = 0,800$ .

3. По метацентрической формуле устойчивости определить угол статического и динамического крена  $\Theta$  под действием ветра, если удельное давление ветра  $p = 150$  кг/м<sup>2</sup>, водоизмещение судна  $D = 2400$  т, осадка  $T = 3,0$  м, метацентрическая высота  $h = 0,5$  м, площадь парусности  $S_n = 375$  м<sup>2</sup>, возвышение ЦТ  $z_g = 6,3$  м, а аппликата ЦП  $z_n = 8,9$  м. Считать, что равнодействующая давления воды  $R_6$  приложена посередине осадки (рис. 94).

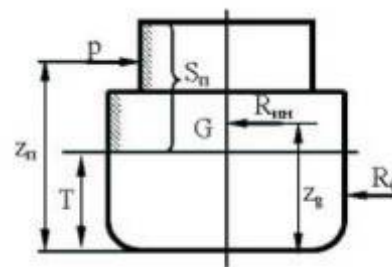


Рисунок 94

4. Судно водоизмещением  $D = 2500$  т, плавающее в пресной воде, при длине  $L = 70,0$  м и осадке  $T_0 = 5,0$  м получило пробойну в носовой

части, в результате чего оказался затопленным отсек, расположенный ниже ватерлинии, вмещающий  $200 \text{ м}^3$  воды. Центр тяжести отсека находится на расстоянии  $x = 15,0 \text{ м}$  от ЦТ судна. Площадь грузовой ватерлинии судна  $S = 650 \text{ м}^2$ , абсцисса центра тяжести ВЛ  $x_f = -1,5 \text{ м}$ . Продольная метацентрическая высота  $H = 80,0 \text{ м}$ . Определить осадку носом  $T_n$  и осадку кормой  $T_k$  после затопления отсека.

5. Грузовое судно имеет мощность главных механизмов  $N = 3000 \text{ кВт}$  при скорости хода  $v_s = 15 \text{ уз}$ . При условии, что водоизмещение судна не меняется определить скорость хода судна  $v_{s1}$  после установки на нем двигателя мощностью  $4000 \text{ кВт}$ . При решении задачи предполагать, что адмиралтейский коэффициент остается неизменным.

#### Вариант 6.

1. Определить главные размерения и коэффициенты полноты судна если известны следующие элементы  $V = 2000 \text{ м}^3$ ,  $S = 550 \text{ м}^2$ ,  $\omega = 33 \text{ м}^2$ ,  $\delta = 0,700$ , отношения главных размерений  $L/T = 20,00$ ;  $B/T = 2,00$ ;  $L/H = 13,00$ .

2. Грузовое судно имеет следующие элементы:  $L = 160,0 \text{ м}$ ,  $B = 20,0 \text{ м}$ ,  $T = 9,0 \text{ м}$ ,  $\delta = 0,660$ . Число тонн на  $1 \text{ см}$  осадки  $p_{1\text{см}} = 25 \text{ т/см}$ . Как изменится осадка при изменении весового водоизмещения на  $10 \%$ , считая судно прямостенным в этих пределах изменения осадки? Удельный вес воды  $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$ .

3. Судно водоизмещением  $D = 2300 \text{ т}$ , длиной  $L = 81,0 \text{ м}$  и площадью ВЛ  $S = 770 \text{ м}^2$  наскочило на камень. Осадка носом после аварии составила  $T_n = 3,5 \text{ м}$ , кормой  $T_k = 4,2 \text{ м}$ , угол крена  $\Theta = 8^\circ$ . Определить координаты точки касания камня ( $x_R$ ;  $y_R$ ;  $z_R$ ), если до аварии осадка была  $T_0 = 4,0 \text{ м}$  поперечная метацентрическая высота  $h_0 = 0,9 \text{ м}$ , продольная  $H = 120,0 \text{ м}$ , удельный вес воды  $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$ .

4. Рудовоз водоизмещением  $D = 41380 \text{ т}$  при посадке на ровный киль с  $T = 10,7 \text{ м}$  и  $L = 182,9 \text{ м}$  повредил днище. Найти посадку судна после затопления цистерн двойного дна № 1 с теоретическим объемом  $v_1 = 1045 \text{ м}^3$  ( $x_1 = 59,3 \text{ м}$ ) и № 2 с  $v_2 = 1474 \text{ м}^3$  ( $x_2 = 25,1 \text{ м}$ ), если площадь ВЛ  $S = 3650 \text{ м}^2$ , продольная метацентрическая высота  $H = 286,0 \text{ м}$ .

5. Полагая водоизмещение судна и адмиралтейский коэффициент постоянными, определить а) во сколько раз увеличится скорость хода судна при увеличении мощности механизмов в 2 раза, б) во сколько раз необходимо увеличить мощность энергетической установки для увеличения скорости хода в два раза.

#### Вариант 7.

1. Корабль при осадке  $T = 6,0 \text{ м}$  имеет объемное водоизмещение  $V = 9000 \text{ м}^3$ . Коэффициенты полноты  $\delta = 0,490$ ,  $\alpha = 0,685$ . Вычислить площадь

ватерлинии корабля.

2. Судно имеет осадку  $T = 2,5 \text{ м}$ , коэффициенты полноты  $\delta = 0,650$ ,  $\alpha = 0,765$  и плавает в пресной воде. Определить изменение средней осадки, если с судна будет снят груз  $P$ , равный по весу  $8 \%$  от водоизмещения. В районе грузовой ватерлинии судно можно считать прямостенным.

3. На судне перенесли с борта на борт грузы, общая масса которых составляет  $2,5 \%$  от водоизмещения судна. В результате судно получило крен  $\Theta = 3^\circ$ . Вычислить начальную метацентрическую высоту  $h$ , если общий центр тяжести этих грузов переместился на  $2,1 \text{ м}$ .

4. Какую осадку носом и кормой будет иметь грузовой теплоход после получения пробоины в заполненных грузовых трюмах № 1 объемом  $v_1 = 535 \text{ м}^3$  ( $x_1 = 36,3 \text{ м}$ ) и № 2 объемом  $v_2 = 422 \text{ м}^3$  ( $x_2 = 14,5 \text{ м}$ ), если число тонн на  $1 \text{ см}$  осадки  $p_{1\text{см}} = 19,6 \text{ т/см}$ , момент дифференцирующий на  $1 \text{ см}$   $m_d = 98 \text{ т м/см}$ ,  $x_c = -0,74 \text{ м}$ ,  $L = 114,3 \text{ м}$ , начальная посадка на ровный киль с  $T_0 = 7,9 \text{ м}$ ,  $D_0 = 10500 \text{ т}$ ?

5. На корабле в результате аварии оказались затопленными бортовые отсеки в средней части общим объемом  $v = 1500 \text{ м}^3$ . Для спрямления корабля были затоплены отеки противоположного борта такого же объема. До повреждения водоизмещение корабля было  $D = 5000 \text{ т}$ , а скорость полного хода  $v_s = 32 \text{ уз}$ . Определить потерю скорости хода  $\Delta v_s$ , принимая адмиралтейский коэффициент неизменным.

#### Вариант 8.

1. Судно имеет объемное водоизмещение  $V = 2800 \text{ м}^3$ , ширину  $B = 18,0 \text{ м}$ , осадку  $T = 3,0 \text{ м}$ , коэффициент полноты мидель-шпангоута  $\beta = 0,970$ , коэффициент продольной полноты  $\phi = 0,640$ . Определить длину судна.

2. Начальные размерения речного судна  $L = 113,3 \text{ м}$ ,  $B = 21,4 \text{ м}$ ,  $T = 5,0 \text{ м}$ . Коэффициенты полноты  $\delta = 0,690$ ,  $\beta = 0,980$ . Определить новую осадку судна после вставки в район мидель-шпангоута цилиндрической вставки длиной  $L_{\text{цв}} = 15,5 \text{ м}$  и массой  $P_{\text{цв}} = 11 \text{ т}$ . При решении задачи считать, что изменение осадки не оказывает влияния на изменение коэффициентов полноты корпуса.

3. Корабль имеет угол крена  $\Theta = 2,3^\circ$ . Сколько необходимо перекачать мазута из одной бортовой цистерны в другую для спрямления корабля, если центр тяжести перекаченного мазута перемещается на  $\Delta y = 8,0 \text{ м}$ , а момент кренящий судно на  $1^\circ$   $m_k = 20 \text{ тм}$ .

4. Определить посадку и поперечную метацентрическую высоту судна после аварии и постановки пластыря на пробоину ранее порожнего трюма, в который поступило  $600 \text{ т}$  забортной воды ( $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$ ) с абсциссой ЦТ трюма  $x = 49,3 \text{ м}$ . Трюм прямоугольный в плане и сечениях,

его ширина  $b = 22,8$  м, длина  $l = 19,8$  м. Длина судна  $L = 176,8$  м. До аварии  $D_0 = 11200$  т.  $T_0 = 7,50$  м,  $h_0 = 0,90$  м, момент дифферентующий на 1 см  $m_d = 290$  тм/см, число тонн на 1 см осадки  $p_{1\text{см}} = 33,7$  т/см.

5. На корабле в результате аварии мощность энергетической установки уменьшилась на 25 %. До повреждения скорость полного корабля хода была  $v_s = 32$  уз. Определить потерю скорости хода  $\Delta v_s$ , принимая адмиралтейский коэффициент неизменным.

### Вариант 9.

1. Определить коэффициент общей полноты судна, у которого ширина  $B = 16,6$  м, осадка  $T = 7,38$  м, площадь мидель-шпангоута  $\omega = 120$  м<sup>2</sup>, а коэффициент продольной полноты  $\varphi = 0,700$ .

2. Осадка судна в пресной воде  $T = 6,0$  м, коэффициент вертикальной полноты  $\chi = 0,900$ , а число тонн на 1 см осадки для пресной воды  $p_{1\text{см}} = 20$  т/см. Сколько дополнительного груза можно будет принять на судно при переходе его в соленую воду с удельным весом  $\gamma = 1,020$  т/м<sup>3</sup> при условии, что осадка в соленой воде станет равной осадке в пресной воде?

3. По диаграмме статической остойчивости судна (рис.95) определить углы статического и динамического крена при действии ветра с удельным давлением  $p = 400$  кг/м<sup>2</sup>. Водоизмещение судна  $D = 3700$  т, площадь парусности судна  $S_n = 675$  м<sup>2</sup>, осадка  $T = 5,0$  м, возвышение ЦТ  $z_g = 6,3$  м, а аппликата ЦП  $z_n = 8,9$  м. Считать, что равнодействующая давления воды  $R_6$  приложена посредине осадки.

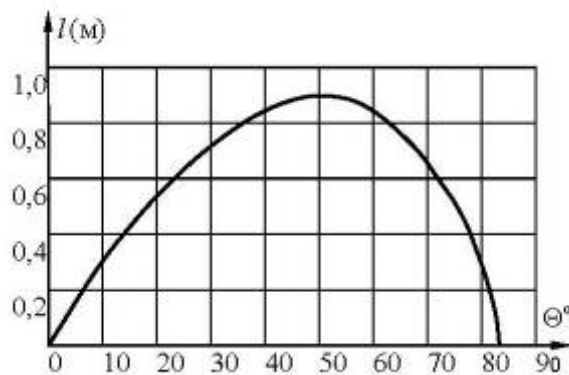


Рисунок 95

4. Определить посадку и поперечную метацентрическую высоту судна после частичного затопления забортной водой ( $\gamma = 1,025$  т/м<sup>3</sup>) трюма заполненного грузом. Абсциссой ЦТ трюма  $x = 49,3$  м. Трюм прямоугольный, его ширина  $b = 22,8$  м, длина  $l = 19,8$  м, высота затопления  $t = 4,0$  м. Длина судна  $L = 176,8$  м. До аварии  $D_0 = 11200$  т.  $T_0 = 7,50$  м,  $h_0 =$

0,90 м, момент дифферентующий на 1 см  $m_d = 290$  тм/см, число тонн на 1 см осадки  $p_{1\text{см}} = 33,7$  т/см.

5. Модель судна, длиной  $l = 10,0$  м, при испытании в бассейне со скоростью  $v = 5$  м/с имела полное сопротивление  $r = 13$  Н. Определить какую часть от полного составляет остаточное сопротивление. Площадь смоченной поверхности модели  $\Omega = 21,3$  м<sup>2</sup>. Сопротивлением шероховатости пренебречь.

### Вариант 10.

1. Объемное водоизмещение корабля  $V = 2\,570$  м<sup>3</sup>, а площадь его конструктивной ватерлинии  $S = 900$  м<sup>2</sup>. Вычислить осадку корабля, если коэффициент общей полноты  $\delta = 0,500$ , а коэффициент полноты площади КВЛ  $\alpha = 0,700$ .

2. Грузовое судно вышло из речного порта, имея водоизмещение  $D = 2\,500$  т (число тонн на 1 см осадки  $p_{1\text{см}} = 7$  т/см). В пути израсходовано топлива  $P_1 = 15$  т и приняты в промежуточных портах грузы суммарным весом  $P_2 = 90$  т. Определить, как изменится средняя осадка судна по приходе в конечный морской порт, где вода имеет удельный вес  $\gamma = 1,020$  т/м<sup>3</sup>.

3. Для заделки пробоины в районе ВЛ на левом борту на судне переместили грузы массой  $P = 500$  т с левого борта на правый, причем общий центр тяжести грузов переместился на 14,0 м. Водоизмещение судна  $D = 10000$  т, а его диаграмма статической остойчивости приведена на рис.95. Определить угол крена судна после перемещения грузов.

4. У пассажирского судна ( $F = 0,50$ ) длина грузового трюма  $l = 15,1$  м является максимально допустимой. При переоборудовании судна предполагается в данном отсеке установить вспомогательные механизмы. Определить на сколько отсек вспомогательных механизмов должен быть короче трюма.

5. Модель судна, длиной  $l = 10,0$  м, при испытании в бассейне со скоростью  $v = 5$  м/с имела остаточное сопротивление  $r_{\text{ост}} = 12$  Н. Найти соответствующую скорости хода модели скорость хода судна и определить остаточное сопротивление судна  $R_{\text{ост}}$  если длина судна  $L = 160,0$  м.

### Вариант 11.

1. Известны следующие элементы судна:  $\alpha = 0,820$ ,  $\delta = 0,780$ ,  $L/B = 7,50$ ,  $B/T = 3,00$ ,  $S = 498$  м<sup>2</sup>. Найти главные размерения  $L$ ,  $B$ ,  $T$  и объемное водоизмещение судна  $V$ .

2. Транспорт принял 450 т груза и при этом не получил крена и дифферента. Каковы координаты центра тяжести принятого груза  $x_p$  и  $y_p$  (относительно миделя и ДП соответственно) и насколько увеличилась осадка транспорта, если площадь его грузовой ватерлинии  $S = 1\,000$  м<sup>2</sup>,

абсцисса ЦВ  $x_c = -3,2$  м и удельный вес воды  $\gamma = 1,015$  т/м<sup>3</sup>. В пределах изменения осадки судно можно считать прямолинейным.

3. Для судна водоизмещением  $D = 10000$  т, диаграмма статической остойчивости которого приведена на рис. 95 определить начальную метацентрическую высоту, предельный угол крена  $\Theta_{\text{прстат}}$  при котором судно может плавать не опрокидываясь, предельный угол динамического крена  $\Theta_{\text{прдин}}$ , величины предельных статического  $M_{\text{прст}}$  и динамического  $M_{\text{прдин}}$  кренящих моментов.

4. Определить для судна длиной  $L = 160,0$  м по схеме общего расположения судна и кривой (рис.96) предельные длины затопления для следующих координат: а). носовой переборки МКО, б). 18,5 шпангоута, в).  $x = -40,0$  м.

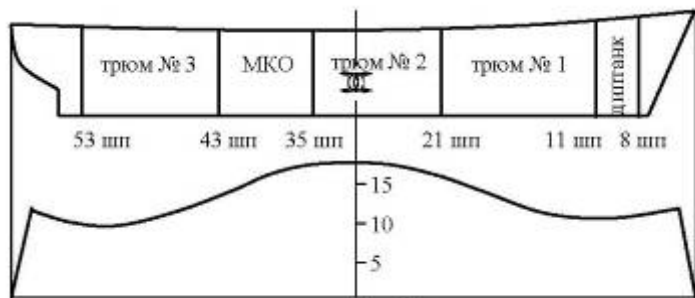


Рис. 29

Рисунок 96

5. В результате неудачного подбора гребного винта судно имеет низкий общий пропульсивный коэффициент  $\eta_{\text{пр}} = 0,48$  и скорость хода  $v_s = 12,0$  уз. После замены винта общий пропульсивный коэффициент должен возрасти примерно до 0,6. Какую скорость хода судна можно при этом ожидать, если мощность установленных на судне главных двигателей равна  $N = 7500$  кВт, и как изменится адмиралтейский коэффициент? При решении задачи принять, что коэффициент полного сопротивления, не меняется.

### Вариант 12.

1. Найти объемное водоизмещение судна  $V$ , если коэффициент общей полноты  $\delta = 0,600$ , коэффициент полноты площади мидель-шпангоута  $\beta = 0,900$ , а отношение главных размерений  $L/T = 22,00$ . Ширина судна  $B = 20,0$  м. Площадь мидель-шпангоута  $\omega = 110$  м<sup>2</sup>.

2. Круглый цилиндрический понтон диаметром  $d = 5,0$  м и длиной  $L = 24,0$  м погружается на жидкий илистый грунт удельным весом  $\gamma_1 = 2,00$  т/м<sup>3</sup> (рис.97), Определить, какой объем понтона  $v_1$  погрузиться в ил, если

вес понтона при погружении  $P = 530$  т, глубина воды в месте погружения более 5,0 м, а удельный вес воды  $\gamma_2 = 1,01$  т/м<sup>3</sup>.

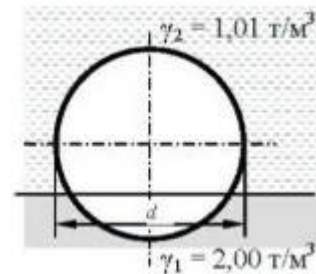


Рисунок 97

3. На судне водоизмещением  $D = 1000$  т и начальной метацентрической высотой  $h = 1,2$  м перенесли 40 т грузов из трюма на верхнюю палубу. При этом общий центр тяжести перенесенных грузов переместился на 10,0 м по вертикали и на 3,0 м к борту. Какой угол крена  $\Theta$  получит судно после переноса грузов?

4. Определить по рис.96. максимальную длину условного отсека середина которого приходится на 43 шпангоут, если фактор подразделения судна  $F = 0,88$  и в этом районе расположены: а) грузовые трюмы, б) машинное отделение, в) каюты экипажа.

5. Эффективная мощность двигателя буксира  $N = 400$  кВт. Определить тягу на гаке  $G$  при скорости буксировки баржи  $v_s = 7$  уз (рис.98), если при этой скорости собственное сопротивление буксира составляет  $R = 1015$  Н, а общий пропульсивный коэффициент равен  $\eta_{\text{пр}} = 0,4$ .

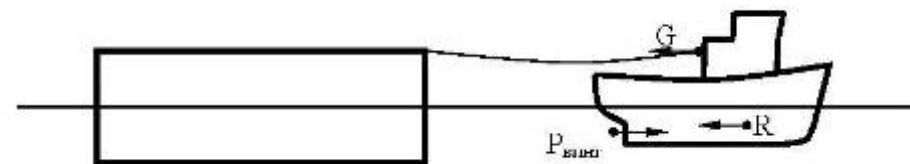


Рисунок 98

### Вариант 13.

1. Определить объемное водоизмещение судна  $V$ , если известны следующие элементы  $S = 770$  м<sup>2</sup>,  $\alpha = 0,850$ ,  $\delta = 0,700$ ,  $T = 3,0$  м.

2. Подводная лодка, представляющая собой цилиндр диаметром  $d = 10,0$  м, длиной  $L = 60,0$  м, идет в подводном положении в воде с удельным весом  $\gamma = 1,025$  т/м<sup>3</sup>. Определить всплывет или погрузиться лодка при расходовании 118 т запасов и переходе в пресную воду.

3. На лодке находятся 2 человека. Водоизмещение лодки  $D = 280$  кг, а начальная метацентрическая высота, при условии, что все люди сидят,  $h = 0,3$  м. Определить, какой станет метацентрическая высота  $h_1$  если с банки встанет а). один человек, б). два человека. Массу одного человека принять равной 70 кг, а перемещение центра тяжести по высоте при подъеме с банки составляет 0,4 м.

4. При переоборудовании грузового судна была увеличена длина носового трюма № 1 (рис.96.) путем удаления переборки отделяющей трюм от диптанка. Пользуясь кривой предельных длин затопления проверить допустимость увеличения длины трюма, если  $F = 1,00$ , а расстояние между шпангоутами  $\Delta L = 1,4$  м.

5. По результатам модельных испытаний буксировочное сопротивление судна составляет  $R = 572,9$  кН, отвечающее скорости судна  $v_s = 15$  уз. Приняв, что КПД винта составляет  $\eta_d = 0,70$ , определить примерное значение эффективной мощности паровой турбины расположенной в средней части судна и работающей а). через редуктор, б). через генератор.

#### Вариант 14.

1. Найти площадь КВЛ, площадь мидель-шпангоута и объемное водоизмещение судна, коэффициенты полноты и главные размерения которого:  $L = 126,2$  м,  $B = 16,32$  м,  $T = 8,98$  м,  $\alpha = 0,872$ ,  $\beta = 0,977$ ,  $\delta = 0,772$ .

2. На судно принимают два места груза. Масса первого груза  $P_1 = 15$  т, второго  $P_2 = 10$  т. Как нужно разместить второй груз относительно миделя, чтобы после приема обоих грузов судно не получило дифферента, если абсцисса центра тяжести первого груза относительно миделя  $x_1 = 17,0$  м, а абсцисса ЦВ относительно миделя  $x_c = -2,00$  м?

3. На лодке находятся 2 человека. Водоизмещение лодки  $D = 280$  кг, а начальная метацентрическая высота, при условии, что все люди сидят,  $h = 0,3$  м. Определить, какой станет метацентрическая высота  $h_1$  если с банки встанут два человека. Масса первого человека 80 кг, второго – 70 кг, перемещение их центров тяжести по высоте при подъеме с банки, первого человека – 0,5 м, второго – 0,4 м.

4. Проверить, пользуясь кривой предельных длин затопления, правильность расстановки поперечных переборок на судне (см. рис.96), если фактор подразделения  $F = 0,50$ . Длина судна  $L = 49,6$  м, шпация  $\Delta L = 0,8$  м.

5. Определить потери энергии на гребном винте, валопроводе и редукторе при эффективной мощности  $N = 2300$  кВт, если  $\eta_d = 0,68$ ,  $\eta_k = 0,98$ ,  $\eta_v = 0,98$ ,  $\eta_p = 0,96$ .

#### Вариант 15.

1. Расчетная осадка лесовоза  $T = 5,59$  м, площадь КВЛ  $S = 904$  м<sup>2</sup>,

площадь погруженной в воду части мидель-шпангоута  $\omega = 71,6$  м<sup>2</sup> и коэффициенты полноты  $\alpha = 0,819$ ,  $\beta = 0,986$ . Найти длину и ширину судна.

2. На корабль, площадь ватерлинии которого  $S = 1\,700$  м<sup>2</sup> устанавливают скуловые кили общим весом  $P = 40$  т. Как изменится осадка корабля в воде с удельным весом  $\gamma = 1,016$  т/м<sup>3</sup> после установки килей, если они вытесняют объем воды  $v = 25$  м<sup>3</sup>?

3. На лодке находятся человек. Водоизмещение лодки  $D = 280$  кг, а начальная метацентрическая высота, при условии, что он сидит,  $h = 0,3$  м. Определить, угол крена лодки  $\Theta$  если человек встанет с банки и переместится к борту на расстояние 0,3 м. Массу человека принять равной 70 кг, а перемещение его центра тяжести по высоте при подъеме с банки 0,4 м.

4. Определить поперечную метацентрическую высоту судна водоизмещением  $D = 3200$  т, плавающего в воде с  $\gamma = 1,025$  т/м<sup>3</sup>, после затопления на высоту  $t = 4,0$  м прямоугольного в плане и сечениях отсека длиной  $l = 15,0$  м в предположении, что а). отсек закрыт на высоте  $t$ , б). отсек открыт сверху. Ширина судна  $B = 12,0$  м, начальная осадка  $T_0 = 5,0$  м, начальная метацентрическая высота  $h_0 = 0,92$  м. Число тонн на 1 см осадки  $p_{1\text{см}} = 23,7$  т/см. Коэффициент проницаемости  $\mu = 0,74$

5. Определить сопротивление технически гладкой пластины размерами  $L = 24,0$  м,  $B = 3,2$  м и пластины той же площади длиной 36,0 м при обтекании ее с двух сторон потоком воды со скоростью  $v = 9$  м/с.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашик В. В. Проектирование судов.- Л., Судостроение, 1983.
2. Барабанов Н.В. Конструкция корпуса морских судов. Л., Судостроение, 1981.
3. Бронников А.В. Морские транспортные суда. – Л., Судостроение, 1984.
4. Горячев А.М., Подругин Е.М. Устройство и основы теории морских судов. Л, Судостроение, 1971.
5. Допатка Р., Перепечко А. Книга о судах. – Л., Судостроение, 1984.
6. Смирнов Н.Г., Чижов А.М. Теория и устройство судна. – М.: Транспорт, 1981.
7. Фрид Е.Г. Устройство судна. Л., Судостроение, 1990.
8. Хализев О.А., Царев Б.А. Теория решения кораблестроительных задач. Учебное пособие. Санкт-Петербург, Изд. СПбГМТУ, 2000
9. Царев Б.А. Введение в кораблестроительные специальности. Л., Изд. ЛКИ, 1982.
10. Чайников К.Н. Общее устройство судов. Л., Судостроение, 1981.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1	История развития кораблестроения/судостроения.....	2
2	История развития кораблестроительного образования.....	7
3	СОВРЕМЕННЫЕ СУДА И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	12
4	ФОРМА КОРПУСА И ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВ.....	21
5	МОРЕХОДНЫЕ КАЧЕСТВА СУДНА.....	32
5.1	Плавучесть. Водоизмещение и марки углубления.....	32
5.2	Остойчивость.....	38
5.3	Непотопляемость судна.....	54
5.4	Качка судна.....	60
5.5	Ходкость судна.....	63
5.6	Судовые двигатели.....	73
5.7	Управляемость судна.....	76
6	ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО И АРХИТЕКТУРА СУДОВ.....	81
6.1	Архитектурно-конструктивные типы судов. Судовые помещения.....	81
6.2	Внешний облик судна. Художественное конструирование в судостроении.....	85
6.3	Прочность судов. Материалы и системы набора корпуса.....	91
6.4	Конструктивные элементы корпуса судна.....	100
6.5	Судовые устройства и сигнальные средства.....	110
6.6	Судовые системы.....	122
6.7	Энергетические установки судов.....	124
7	ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ПОСТРОЙКА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ СУДОВ.....	128
7.1	Проектирование судов.....	128
7.2	Технологические схемы постройки судов.....	131
7.3	Эксплуатация судна.....	132
7.4	Классификационные общества и требования международных конвенций.....	133
7.5	Учет требований по охране окружающей среды при проектировании, постройке и эксплуатации.....	138
7.6	Ремонт судов.....	140
8	ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ.....	143