

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ



Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет

Е.Е. Петрова

ТЕОРИЯ И УСТРОЙСТВО СУДНА

Методические указания по выполнению практических работ
студентов и курсантов по специальности 26.05.06
«Эксплуатация судовых энергетических установок»
всех форм обучения

Владивосток

2025

УДК 629.12 (07)

ББК 39.42

Б 772

Утверждено редакционно-издательским советом
Дальневосточного государственного рыбохозяйственного
Университета.

Автор – Е.Е. Петрова

Рецензент – В.В. Ганнесен доцент кафедры
«Судовождение»

© Е.Е. Петрова, 2025

© Дальневосточный государственный технический
рыбохозяйственный университет, 2025.

Практическое занятие 1

Конструкция корпуса судна

Порядок выполнения работы:

1. Рассмотреть силы, действующие на плавающее судно на спокойной воде и на волнении. Виды деформации, усилия при общем продольном изгибе. Перекрытия и системы их набора. Рассмотреть поперечную систему набора корпуса судна, область ее применения, основные поперечные и продольные связи, элементы наружной обшивки, достоинства и недостатки поперечной системы набора.

2. Рассмотреть продольную систему набора корпуса судна, область ее применения, поперечные и продольные связи, достоинства и недостатки.

3. Рассмотреть комбинированную (смешанную) систему набора корпуса, ее особенности, область применения, продольные и поперечные связи.

4. Изучить основные элементы продольного и поперечного набора, основных конструктивных типов судов.

Содержание выполненной работы:

Кратко описать силы, действующие при поперечном и общем продольном изгибе корпуса судна. Выписать все элементы систем набора, выучить судовую терминологию.

Краткие сведения о прочности, системах набора и конструкции морских судов.

Прочность – важнейшее качество корпуса судна. Под прочностью корпуса понимается его способность выдерживать расчетные нагрузки не повреждаясь. Различают местную и общую прочность корпуса. Основными нагрузками, под воздействием которых рассматривается местная прочность являются: на подводную часть корпуса действует давление, которое должно выдерживаться днищевыми и бортовыми перекрытиями; жидкий или навалочный груз, размещенный в трюмах оказывает давление на днищевое и бортовое перекрытия, а также на поперечные переборки; палубные перекрытия и крышки люков, опирающиеся на комингсы должны выдерживать вес палубных грузов; вес льда при обледенении не должен приводить к повреждению палубных конструкций;

контактные усилия от взаимодействия корпуса со льдом при движении должны выдерживаться корпусными конструкциями. Основными нагрузками, под воздействием которых рассматривается общая прочность являются: нагрузки на тихой воде от сил веса и сил плавучести приводят к общему продольному изгибу корпуса судна; нагрузки на волнении усугубляют изгиб корпуса, а также вызывают скручивание корпуса.

На плавающее в воде судно действуют две системы сил:

- силы тяжести (силы веса);
- гидростатические силы давления воды (силы поддержания).

Силы веса направлены сверху вниз, а силы поддержания, снизу вверх. Величина сил поддержания или сил плавучести зависит от формы погруженного в воду объема. Так как судно плавает, то эти силы находятся в равновесии, т.е. сумма сил веса равна сумме сил поддержания. Однако по длине судна эти силы распределяются неравномерно, поэтому в одних местах имеет место избыток сил веса, а в других избыток сил поддержания. Эти избыточные силы вызывают деформацию изгиба корпуса судна, даже на тихой воде. Наибольшие усилия от изгиба возникают когда судно попадает на вершину или подошву волны, при длине волны приблизительно равной длине судна.

При положении судна на вершине волны палуба судна испытывает растяжение, а днище - сжатие. Такая деформация называется перегибом. На подошве волны, наоборот днище растягивается, а палуба сжимается, и корпус судна испытывает деформацию – прогиб. Расчеты показывают, что наибольшие изгибающие моменты, а следовательно и усилия возникают в миделевом сечении судна, тогда и максимальные напряжения от изгиба возникают в крайних наиболее удаленных по высоте связей корпуса судна – в палубе и днище

Проверяют на общую и местную прочность судовые перекрытия: палубные, днищевые и бортовые. Местной прочностью называется способность корпусных перекрытий и отдельных связей выдерживать, не разрушаясь, местные нагрузки от действия сил веса перевозимых грузов, давления воды, удары волн и льда.

Корпус судна представляет собой конструкцию, состоящую из каркаса, образованного балками набора, и обшивки. Каркас формируется продольными и поперечными балками набора. Как правило, расстояние между балками одного направления больше, чем между балками перпендикулярного им направления. Если расстояние

между балками продольного направления меньше, чем между балками поперечного направления, то они называются балками главного направления и образуют продольную систему набора. Пластины перекрытия, набранного по продольной системе набора, имеют более длинную сторону, ориентированную вдоль судна. Если расстояние между балками поперечного направления меньше, чем между балками продольного направления, то поперечные балки называются балками главного направления и образуют поперечную систему набора. Пластины перекрытия, набранного по поперечной системе набора, имеют более длинную сторону, ориентированную поперек судна. Если балки продольного направления и балки поперечного направления располагаются на одинаковом друг от друга расстоянии (пластины перекрытия имеют форму квадрата), то систему набора называют клетчатой или смешанной. Каждая из систем набора оптимальным образом соответствует нагрузкам, которые действуют на корпус судна. Поэтому в одном корпусе оконечности, палубные, днищевые и бортовые перекрытия могут иметь различные системы набора.

Рассмотрим системы набора, их достоинства, недостатки и область применения.

Поперечная система набора корпуса судна.

Поперечная система набора сравнительно проста по конструкции и технологична в изготовлении. Перекрытия, набранные по поперечной системе набора, хорошо работают под воздействием поперечных нагрузок, в том числе и ледовых. Существенным недостатком поперечной системы набора являются низкие эйлеровы напряжения – сжимающие напряжения, при которых элементы перекрытия, в данном случае пластины, теряют устойчивость, даже при обычных эксплуатационных режимах плавания. Кроме того, поперечная система набора имеет еще один существенный недостаток: из-за поперечной усадки угловых сварных швов в тавровых соединениях образуется, и со временем увеличивается прогиб пластин.

Продольная система набора корпуса судна.

Продольная система набора широко применяется на современных судах в том числе средних и крупных судов, главным образом для набора средней части корпуса судна. Преимущество продольной системы набора – высокие эйлеровы напряжения, что позволяет обеспечить устойчивость пластин даже тогда, когда с

целью уменьшения массы в конструкции использована сталь повышенной прочности. Кроме того при продольной системе набора устраняется отрицательное влияние сварочных деформаций на устойчивость пластин. Недостатками продольной системы являются: необходимость установки высокого рамного набора, загромаздящего внутренние объемы. Поэтому ее применение оказывается целесообразным на судах, перевозящих жидкие и сыпучие грузы; большей сложностью при постройке и ремонте из-за большого числа отверстий в поперечном наборе и мелких деталях крепления продольного набора к поперечному; большая концентрация напряжений в узлах пересечения продольных балок с водонепроницаемыми флорами и поперечными переборками.

Смешанная система набора характеризуется практически одинаковым расстоянием, на котором устанавливаются друг от друга продольные и поперечные балки набора, поэтому такая система набора получила еще одно название – клетчатая. Смешанная (клетчатая) система набора используется в местах корпуса судна, где для установки устройств (винторулевой комплекс, движительные рулевые колонки) требуется обеспечить высокую местную прочность и большую жесткость конструкции. Изготовление таких частей корпуса судна отличается высокой трудоемкостью и требует высокой точности изготовления для безупречной стыковки с устройствами. Кроме того, эти части корпуса работают в условиях повышенной вибрации и электромагнитных полей повышенной интенсивности.

Судовым перекрытием называется система продольных и поперечных балок набора, соединенных обшивкой и опирающихся на жесткий опорный контур борта, переборки, палубы, днища.

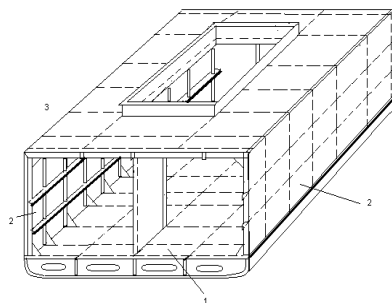


Рис. 2 Основные перекрытия корпуса судна:

1 – днищевое; 2 – бортовое; 3 – палубное.

Конструкция днищевого перекрытия

В зависимости от размеров судов днищевые перекрытия делают без двойного дна или с двойным дном. Настил второго дна является основной продольной связью корпуса, ограничивающей двойное дно сверху. Настил выполняется из стальных листов, уложенных на днищевой набор и приваренных к нему. На судах длиной 61 м и более настил второго дна простирается от форпиковой до ахтерпиковой переборки. Толщину листов настила второго дна назначают исходя из условий прочности и эксплуатации судна. Днищевые перекрытия судов без двойного дна состоят из флоров, вертикального кия и днищевых стрингеров.

Вертикальный киль – это мощная продольная днищевая балка, проходящая в диаметральной плоскости судна. Усиленный по сравнению с флорами вертикальный киль пропускается вдоль всего судна, насколько это практически возможно. Он может быть разрезным или неразрезным у флоров. Суда длиной более 60 м имеют, как правило, между поперечными переборками неразрезной вертикальный киль. На поперечных переборках вертикальный киль разрезают и приваривают к ним, устанавливая дополнительно кницы или уширя поясok вертикального кия.

Днищевое перекрытие рыболовного траулера состоит из туннельного кия, флоров и днищевых стрингеров.

Туннельный киль – это два вертикальных листа, расположенные симметрично относительно диаметральной плоскости судна. Туннельный киль используется для прокладки магистральных трубопроводов, что облегчает уход за ними и предохраняет их от замораживания.

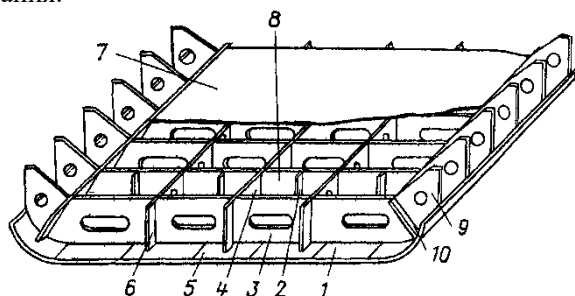


Рис. 2 Конструкция днищевого покрытия с двойным дном при поперечной системе набора: 1 – наружная обшивка; 2 – ребро; 3 – флор проницаемый; 4 – вертикальный киль; 5 – горизонтальный киль; 6 – стрингер днищевой проницаемый; 7 – настил второго дна; 8 – флор непроницаемый; 9 – скуловая кница; 10 – стрингер днищевой непроницаемый (крайний междудонный лист)

Флор – это мощная поперечная вертикальная балка, подкрепляющая днище.

Набор днищевых перекрытий с двойным дном при поперечной системе набора состоит из вертикального кия, днищевых стрингеров, крайнего междудонного листа, а также флоров, устанавливаемых на каждом шпангоуте.

Флоры двойного дна бывают сплошные и открытые. В свою очередь, сплошные бывают проницаемые и водонепроницаемые, а открытые – бракетные и облегчённые.

Сплошные проницаемые флоры (Рис. 3, а) состоят из целых листов, подкреплённых рёбрами жесткости, имеющими вырезы.

Сплошные водонепроницаемые флоры (Рис. 3, б) ограничивают междудонные цистерны и водонепроницаемые отсеки. Их делают несколько больше длины, чем сплошные проницаемые флоры (не менее чем на 2 мм) и подкрепляют вертикальными рёбрами жесткости не реже чем через 0,9 м.

Открытые бракетные флоры (Рис. 3, в) состоят из нижних и верхних балок, соединённых бракетами у вертикального кия, основных днищевых стрингеров и крайнего междудонного листа.

Открытые облегченные флоры (Рис. 3, г) состоят из листов с большими вырезами (но не более 1,2 высоты вертикального кия).

Голубницы – это мелкие вырезы по кромкам флора, предназначенные для протока жидкостей и газов.

Днищевой стрингер – это мощная продольная днищевая балка.

Днищевые стрингеры устанавливают вдоль судна между вертикальным килем и бортом на расстоянии от вертикального кия и друг от друга не более 4,0–4,15 м при поперечной системе набора и не более 4,5–4,65 м при продольной.

Крайними междудонными листами называются крайние листы настила второго дна, расположенные вдоль скулы по каждому борту и замыкающие по бортам отсеки второго дна. Эти листы делают наклонными или горизонтальными. Толщину крайнего междудонного листа принимают несколько больше, чем толщину второго дна.

При продольной системе набора днищевое перекрытие подкрепляют часто расставленными днищевыми балками. Их называют рёбрами жесткости.

Рёбра жёсткости – это дополнительные балки, не имеющие названия, меньше основных балок.

Конструкция бортовых перекрытий

Бортовые перекрытия состоят из наружной обшивки борта и бортового набора. Они воспринимают действие давления воды, значение которого растёт пропорционально глубине погружения борта.

При плавании судна на взволнованной поверхности и при бортовой качке величина этого давления периодически меняется в значительных пределах. Особенно заметные изменения нагрузки испытывает бортовое перекрытие в районе носовой оконечности, где к указанным выше нагрузкам добавляется динамическая нагрузка от ударов волн (слеинга). Конструкции бортовых перекрытий судов, плавающих во льду, испытывают также действие ледовой нагрузки.

Бортовой набор состоит из балок, идущих в поперечном направлении, – шпангоутов.

Шпангоут – это мощная поперечная балка бортового перекрытия. Расстояние между смежными или соседними шпангоутами называется шпацией.

Бортовой стрингер – это мощная продольная балка, подкрепляющая борт судна.

Ребро жёсткости – это профильный элемент на листе обшивки палубы, переборки и т.п., обеспечивающий местную жёсткость.

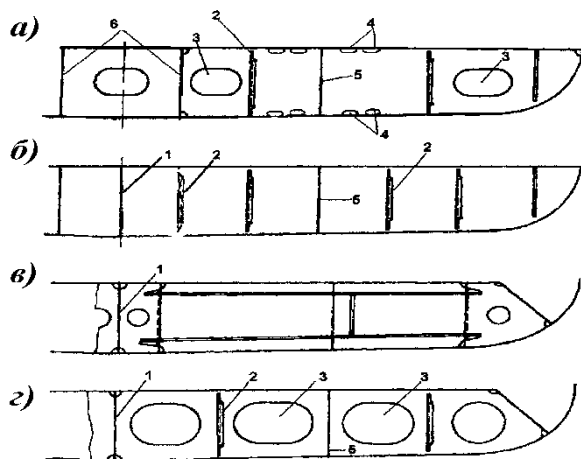


Рис. 3 Виды флоров:

а – сплошной проникаемый, *б* – сплошной водонепроницаемый, *в* – открытый бракетный, *г* – открытый облегчённый; 1 – вертикальный киль, 2 – ребро жёсткости, 3 – лаз, 4 – голубницы, 5 – днищевой стрингер, 6 – туннельный киль

Если бортовое перекрытие выполнено по поперечной системе набора, то шпангоуты в виде катаных или составных профильных балок устанавливают перпендикулярно к диаметральной плоскости (ДП) на всём протяжении судна, за исключением района кормы (у ледоколов – кормы и носа), где шпангоуты ставят перпендикулярно к наружной обшивке; в этом случае их называют поворотными шпангоутами.

Шпангоуты могут быть:

- а) обыкновенные (выполняют из стального профиля);
- б) усиленные (выполняют из усиленного стального профиля);
- в) рамные (выполняют в виде рамы, расположенной по периметру поперечного сечения корпуса судна и состоящей из последовательно соединённых друг с другом балок набора днища, бортов и палуб).

Шпангоуты, устанавливаемые при поперечной системе набора в каждой шпации, называются **основными**. В районе трюмов ветви основных шпангоутов называют **трюмными**, а в междупалубных помещениях – твиндеках – **твиндечными**.

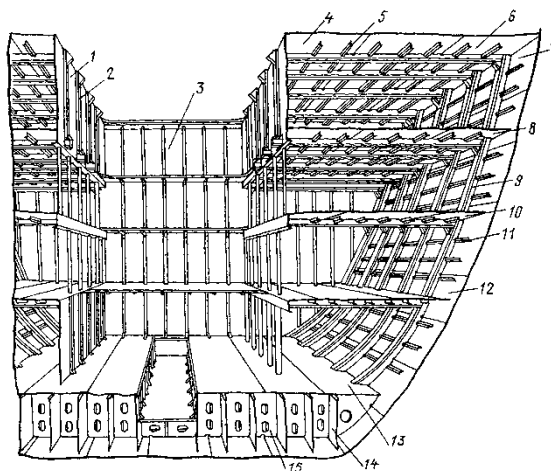


Рис. 4 Конструкция борта при продольной системе набора: 1 – стенка шахты МО, 2 – стойка шахты, 3 – переборка поперечная, 4 – настил палубы юта, 5 – подпалубное ребро жёсткости, 6 – стрингер палубный, 7 – ширстрек, 8 – палуба переборок, 9 – шпангоут рамный, 10 – платформа МО, 11 – ребро жёсткости борта, 12 – обшивка борта, 13 – настил второго дна, 14 – стрингер днищевой, 15 – флор сплошной

Так как нагрузка на бортовое перекрытие в нижней его части больше, чем верхней, трюмные шпангоуты имеют большее сечение, чем твиндечные. Нижние концы трюмных шпангоутов соединяют с крайним междудонным листом или с днищевым набором при помощи скуловых книц или путём обычного перекроя бортовым шпангоутом днищевых флора.

Кница – это треугольная пластина (или пластина близкой к ней формы), соединяющая балки набора.

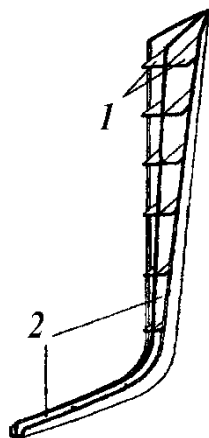
Верхние концы шпангоутов крепят к подпалубному набору с помощью книц, называемых бимсовыми. В районе *МКО* в соответствии с Правилами Регистра России устанавливают не реже чем через каждые пять шпаций рамные шпангоуты усиленного профиля и бортовые стрингеры.

Для усиления прочности бортового перекрытия при действии ледовой нагрузки в бортовой набор включают промежуточные шпангоуты, которые ставят между основными, а также бортовые стрингеры, устанавливаемые не реже чем через 1,4 м друг от друга.

Бортовое перекрытие, набранное по продольной системе набора, применяется на танкерах или других крупных судах с большим количеством поперечных переборок. На таких судах длина трюма получается меньше его высоты, поэтому выгоднее ставить балки главного направления вдоль судна.

Между поперечными переборками устанавливают рамные шпангоуты – не менее двух на отсек нормальной длины. Рамные шпангоуты являются дополнительными опорами для продольных бортовых балок. Могут быть установлены также и бортовые стрингеры.

Штевни



Носовую и кормовую оконечности корпуса судна ограничивают соответственно форштевнем и ахтерштевнем, которые надёжно соединены с обшивкой правого и левого бортов, вертикальным килем, бортовыми стрингерами и палубами.

Форштевень (Рис. 5) принимает на себя удары при столкновениях с другими судами, о грунт, причал, лёд. Форштевни бывают литыми, коваными и сваренными из литых и кованных

частей, но, чаще всего, сваренными из гнутых стальных листов.

Форштевень

Рис. 5 Форштевень:

1 – брештуки; 2 –
продольное ребро

делится
которые
собой в
помощью дуговой
Палубы и
форштевня бортовые
приваривают к

горизонтальным
ребрам форштевня – брештукам
(треугольным или трапециевидным листам,
подкрепляющим гнутые листы форштевня).

В подводной части брештуки
устанавливают не реже чем через 1 м, выше ватерлинии – не реже чем
через 1,5 м.

Вертикальный киль приваривают к продольному ребру
жесткости форштевня.

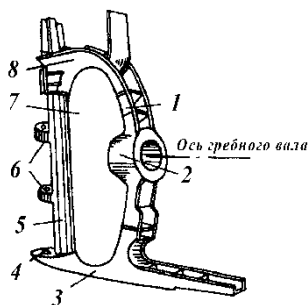
Ахтерштевень (Рис. 6) мощная литая или сварная конструкция,
которая завершает кормовую оконечность корпуса. На одновинтовых
судах ахтерштевень служит одной из опор для дейдвудной трубы,
которая проходит через отверстие в яблоке ахтерштевня,
расположенном в передней его стойке, именуемой **старнпостом**.
Ахтерштевень служит также опорой для руля, который вращается на
штырях, соединенных с его вертикальной стойкой – **рудерпостом**.
Старнпост и рудерпост соединяют в верхней части аркой, а в нижней
– подошвой, замыкая, таким образом, **окно ахтерштевня**.

Ахтерштевни бывают литыми, сварными из литых и кованых
частей и сварными из листов. Масса литых ахтерштевней крупных
судов достигает 60–180 т, поэтому их изготавливают из нескольких
сварных частей.

Конструкция фальшборта

Фальшборт – это ограждение верхней палубы, являющееся
продолжением борта и состоящее из обшивки, подкрепляющей
вертикальные стойки (контрфорс) и планширь.

Фальшборт предназначен для ограждения открытых палуб от
действия ветра и волн. На верхней палубе фальшборт устанавливают



большого судна
по высоте на
несколько частей,
соединены между
«замок» с
сварки.
доходящие до
стрингеры

ис. 6 Ахтерштевень
одновинтового судна:

1– старнпост, 2 – яблоко,
3 – подошва, 4 – пятка,
5 – рудерпост, 6 – петля
руля, 7 – окно, 8 – арка

в плоскости наружной обшивки, поэтому снаружи он кажется продолжением ширстрека.

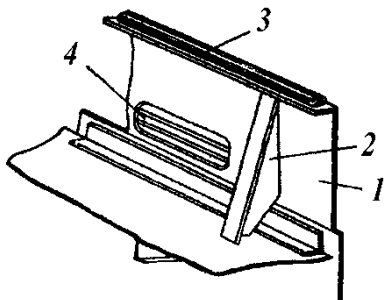


Рис. 7 Конструкция фальшборта:
1 – фальшбор, 2 – контрфорс, 3 –
планширь, 4 – штормовой портик с
решёткой

Высоту фальшборта принимают не менее 1,0 м (обычно 1,1–1,2 м). Более высокий фальшборт (1,3–1,5 м) оборудуют на судах, перевозящих палубные грузы, – на лесовозах, контейнеровозах, судах типа «ро-ро» и др.

Фальшборт состоит из листов толщиной 3,0–8,5 мм (в зависимости от длины судна), устанавливаемых длинной кромкой вдоль палубы. Через каждые две – три шпации, но не

реже чем через 1,8 м (на судах, перевозящих палубный груз, не реже чем через 1,2 м) устанавливают подкрепляющие стойки в виде книц с отогнутым фланцем шириной 60–90 мм. Ширину стоек вверху принимают равной ширине планширя.

Планширь – это планка из профильной стали, приваренная к верхней кромке фальшборта для его упрочнения. В нижней части фальшборта делают вырезы – штормовые портики, предназначенные для стока за борт попавшей на палубу воды. В штормовых портиках имеются решётки, препятствующие выбрасыванию за борт смываемых волной предметов.

Привальный брус – это деревянная, металлическая или резинометаллическая конструкция, устанавливаемая вдоль борта выше ватерлинии и предназначенная для защиты борта судна при швартовке от ударов о пирс или другое швартуемое к борту судно.

Скуловые (боковые) кили служат для уменьшения размахов (амплитуд) бортовой качки. Их устанавливают в районе скулы в средней части корпуса судна на протяжении около 0,25–0,35 L (L – длина судна). При этом обеспечивается наименьшее сопротивление воды движению судна, так как боковые кили располагаются вдоль линии обтекания корпуса водой, а также наибольшее уменьшение бортовой качки, поскольку в этом случае плечо противодействующего раскачиванию судна момента будет наименьшим.

Конструкция палубных перекрытий

Палубам в составе корпуса приходится выполнять различные функции. Они участвуют в общем продольном изгибе судна, воспринимают местную поперечную нагрузку, служат опорными конструкциями для бортов и переборок и обеспечивают непонижаемость корпуса.

Палубный набор включает: бимсы и карлингсы.

Бимс – это поперечная подпалубная балка, идущая от борта до борта.

Полубимс – это поперечная подпалубная балка, идущая от борта до комингса люка.

Карлингс – это продольная усиленная подпалубная балка.

Пиллерс – вертикальная стойка круглого сечения, подпирающая палубу или платформу.

При поперечной системе набора (Рис. 8, а) бимсы, установленные на каждом шпангоуте, поддерживаются одним или несколькими карлингсами, представляющими собой сварные тавровые балки вырезами в стенках, через которые проходят бимсы, имеющие, как правило, меньшую высоту. Вместе со шпангоутами борта и флорами днища бимсы образуют в одном поперечном сечении корпуса шпангоутную рамку. В местах расположения рамных шпангоутов устанавливают усиленные **рамные бимсы**.

При продольной системе палубного набора применяют обычно только на крупных судах, где она позволяет получить некоторый выигрыш в массе палубного перекрытия. Однако из-за наличия высоких поперечных рам рационально использовать подпалубное пространство затруднительно, поэтому даже на крупных сухогрузных и пассажирских судах продольную систему палубного набора используют редко.

Палубные перекрытия опираются на борта, продольные и поперечные переборки, а при большой величине пролёта поддерживаются ещё и пиллерсами. Установка пиллерсов способствует уменьшению массы палубных перекрытий. Пиллерсы ставят либо по концам грузового люка в *ДП* (два пиллерса на каждый трюм), либо по углам грузового люка (четыре пиллерса на каждый трюм). На многопалубных судах пиллерсы, по возможности, располагают один под другим, причем, чем ниже находится пиллерс, тем большую нагрузку он воспринимает и, следовательно, тем больше его размеры.

Большие вырезы в палубах в районе грузовых люков подкрепляются по периметру мощными балками – комингсами, которые опираются на пиллерсы или чаще на продольные полупереборки, установленные в ДП.

Усиленные бимсы, совпадающие с носовой или кормовой кромкой грузового люка, называют, концевыми бимсами.

Обычно в районе грузовых люков устанавливают полубимсы.

Полубимс – это поперечная подпалубная балка, идущая от борта до комингса люка или выреза.

Если бимс не покрыт палубным настилом, его называют холостым.

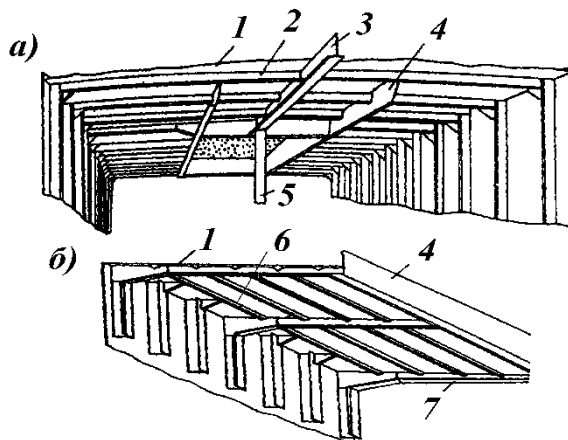


Рис. 8 Конструкция палубных перекрытий: а – поперечная система набора, б – продольная система набора; 1 – палуба, 2 – бимс, 3 – карлингс, 4 – комингс, 5 – пиллерс

Переборки и выгородки

По расположению в корпусе переборки можно разделить на поперечные и продольные.

На каждом морском судне обязательно должно быть установлены следующие *поперечные переборки*:

- форпиковая (таранная) – ограничивает первый носовой отсек судна – форпик; устанавливается на расстоянии не ближе $0,05L$ и не дальше $0,05L + 3$ м от форштевня;
- ахтерпиковая – ограничивает крайний кормовой отсек судна – ахтерпик;
- носовая и кормовая переборка *МО* – если *МО* расположено в средней части судна.

Общее количество поперечных переборок на судне регламентируется Правилам Регистра в зависимости от длины судна, расположения *МО* по длине судна и т.д. Расстановка переборок связана также с условиями обеспечения данному судну непотопляемости при затоплении определенного количества отсеков.

По назначению переборки подразделяются на:

– непроницаемые – ограничивают грузовые трюмы сухогрузных судов, грузовые отсеки танкеров, различные отсеки и цистерны, предназначенные для хранения жидких судовых запасов;

– огнестойкие – предназначены для предотвращения распространения пожара по судну. Имеют специальную противопожарную изоляцию и разделяют корпус на несколько противопожарных зон. Устанавливаются главным образом на крупных пассажирских судах;

– выгородки – предназначены для разделения пространства в надстройках, рубках, а также межпалубного пространства на ряд отдельных судовых помещений;

– отбойные – устанавливаются вдоль судна внутри цистерн для уменьшения влияния переливающейся жидкости на остойчивость судна. Как правило, они проницаемые, с большими вырезами, расположенными на половине высоты переборки.

Конструктивный мидель-шпангоут

Днищевое перекрытие

1. Вертикальный киль
2. Горизонтальный киль
3. Продольные днищевые ребра жесткости
4. Днищевый стрингер
5. Флор
6. Скула (скуловой пояс)
7. Скуловой киль
8. Крайний междудонный лист
9. Настил второго дна (двойное дно)

Бортовое перекрытие

10. Шпангоут (шпация)
11. Бортовые спрингеры
12. Скуловая кница
13. Бимсовая кница
14. Бортовые продольные ребра жесткости

15. Ширстрек

Палубное перекрытие

16. Палубный стрингер

17. Продольные ребра жесткости

18. Карлингс

19. Пиллерс

20. Бимс

Фальшборт

21. Контрфорс

22. Планширь

23. Обшивка фальшборта

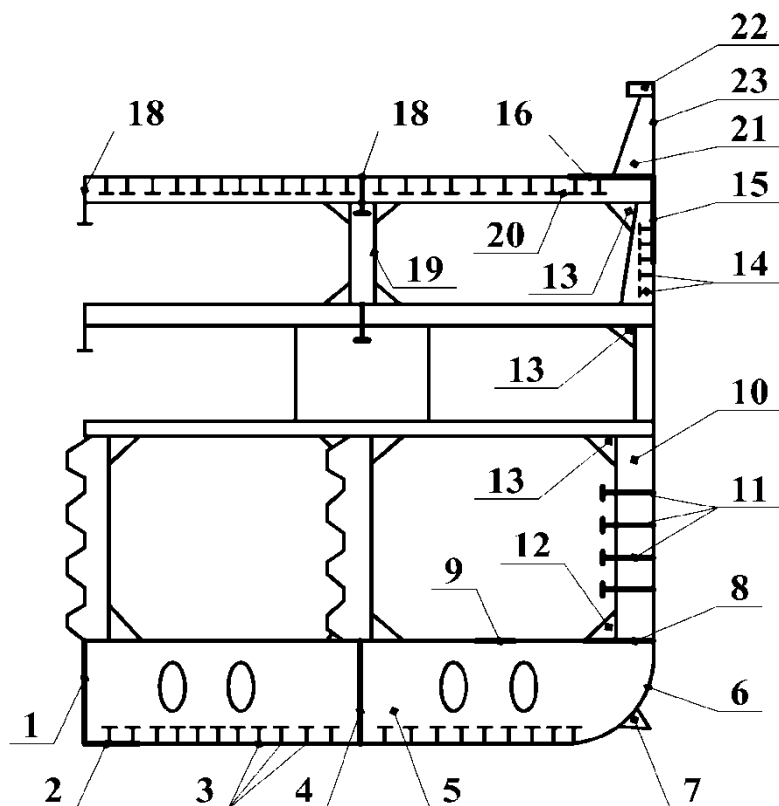


Рис. 9 Конструктивный мидель-шпангоут

Практическое занятие 2

Устройство морских судов

Порядок выполнения работы:

Изучить архитектурно-конструктивные типы судов, количество, номенклатуру и схему расположения судовых помещений.

Содержание выполненной работы:

Выписать основные элементы устройства морских судов, выучить судовую терминологию.

Общее расположение судовых помещений на судне

Количество, номенклатура и расположение помещений на судне зависит от назначения судна. Судовые помещения размещают в основном корпусе, надстройках и рубках. Расположение помещений по судну соответствует их назначению, удобству и безопасности пользования. Самыми большими судовыми помещениями являются грузовые трюмы и машинное отделение, от расположения которых зависит архитектурно-конструктивный тип судна.

Основным корпусом называется конструкция, образующая закрытое пространство, которое ограничивается верхней непрерывной палубой, бортами и днищем. Деля внутри основной корпус различными палубами, платформами, продольными и поперечными переборками, образуются судовые помещения и отсеки.

Отсеком называется пространство в корпусе судна, ограниченное по длине поперечными, а по ширине бортами и продольными переборками. К числу наиболее важных отсеков основного корпуса относят:

Форпик – крайний носовой отсек, отделяющийся форпиковой переборкой;

Ахтерпик – крайний кормовой отсек, отделяющийся ахтерпиковой переборкой;

Междудонное пространство – пространство между наружной обшивкой и вторым дном;

Трюм – пространство между вторым дном и ближайшей палубой, служащее для хранения и перевозки грузов;

Твиндеки – междупалубные пространства, служащие для перевозки грузов.

Диптанки – глубокие цистерны, расположенные выше второго дна, предназначенные для хранения и перевозки жидких грузов;

Коффердамы – узкие нефте- и газонепроницаемые сухие отсеки, расположенные между отсеками или цистернами для нефтепродуктов и соседними помещениями.

Надстройки и рубки располагаются на верхней непрерывной палубе основного корпуса.

Надстройка – это конструкция образующая закрытое пространство, расположенное выше верхней палубы от борта до борта или не доходящая до бортов на величину менее 0,04 В (В – ширина судна).

Конструкции, не доходящие до бортов судна на величину более 0,04 В, называются **рубками**. Надстройки служат не только для размещения в них помещений, но и для улучшения мореходных качеств судна.

Бак – носовая надстройка, уменьшающая заливаемость палубы.

Ют – кормовая надстройка, увеличивающая надводный борт в корме и повышающая запас плавучести и непотопляемости судна при повреждении кормовой оконечности и дифференте на корму.

В носовой и кормовой частях корпус судна заканчивается мощными балками форштевнем и ахтерштевнем.

Форштевень – мощная носовая балка, служащая для крепления обшивки правого и левого борта, а также продольного набора.

Ахтерштевень – мощная кормовая балка, служащая для крепления обшивки правого и левого борта, пера руля и гребного вала.

Корма – задняя оконечность судна, начинающаяся от ахтерпиковой переборки и заканчивающаяся ахтерштевнем или транцем.

Транец – плоский, поперечный срез кормы судна.

Нос – передняя оконечность судна, простирающаяся от форштевня до форпиковой переборки.

Платформа – горизонтальное перекрытие небольшой длины и ширины внутри одного или нескольких отсеков основного корпуса. Палуба, до которой доводятся поперечные водонепроницаемые переборки, называется главной или **палубой переборок**. В зависимости от архитектурно-конструктивного типа судна такой может быть верхняя, вторая и другие палубы.

Палуба – это горизонтальное перекрытие, протирающееся от борта до борта по всей длине судна.

Нижние палубы – палубы, расположенные ниже верхней палубы.

Верхняя палуба – самая верхняя палуба, непрерывная по всей длине судна.

Палуба надстройки – палуба, ограничивающая надстройку сверху.

Палуба рубки – это палуба, ограничивающая рубку сверху и каждый ярус. Нумерация палуб – аналогично палубам надстройки.

Квартердек – приподнятая уступом кормовая часть верхней палубы.

Положение помещения по длине и ширине судна обозначают соответственно номерами шпангоутов, ограничивающих помещение по длине и ширине, и наименованиям борта, на котором расположено помещение (правый и левый борт – ПрБ и ЛвБ). Всем помещениям на судне присваиваются порядковые номера (по правому борту – нечетные, по левому – четные).

Переборка – это вертикальное перекрытие, служащее для разделения основного корпуса на отсеки.

Под общим расположением судна понимают общую компоновку в корпусе, настройках и рубках всех помещений, предназначенных для размещения на судне главных и вспомогательных механизмов, судового оборудования, запасов, перевозимых грузов, экипажа и пассажиров, а также всех служебных, бытовых, хозяйственных и санитарных помещений (Рис. 10).

Корпус судна настилом второго дна, палубами и переборками делится на ряд отсеков, которые необходимы для размещения главных двигателей, оборудования и грузов, а также для обеспечения непотопляемости и прочности. Отсеки двойного дна, образованные настилом второго дна и наружной обшивкой, используются для хранения запасов топлива, воды, смазочного масла и размещения водяного балласта. Двойное дно служит также для повышения безопасности морских судов. Если настил второго дна заканчивается наклонным листом, то у борта судна образуются пространства, называемые *льялами*. Они служат для сбора воды, попадающей в трюм судна. Форпик и ахтерпик используют для приёма водяного балласта или хранения пресной воды. Перед переборкой форпика установлен цепной ящик, в который поступает якорная цепь при подъёме якоря.

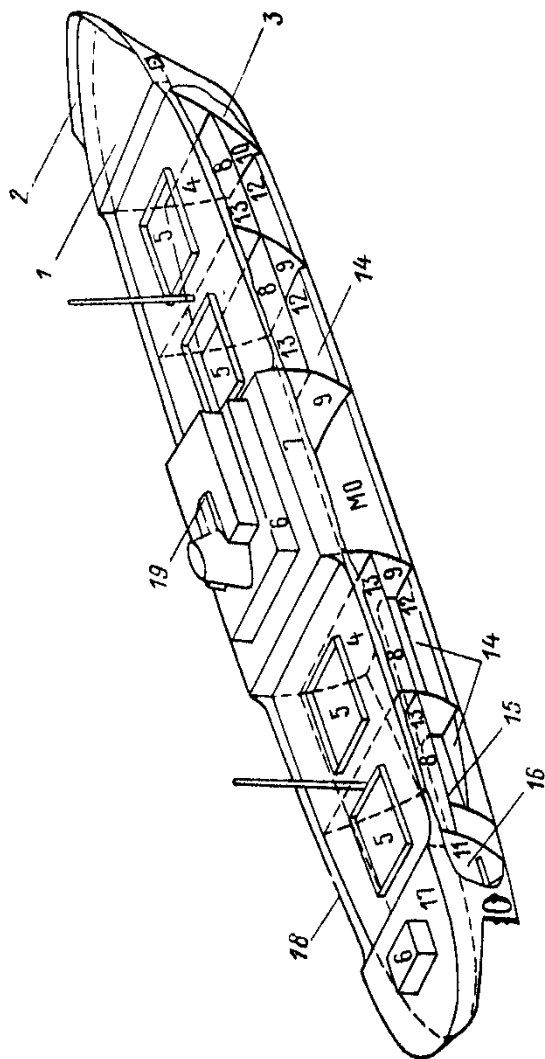


Рис. 10 Схема корпуса: 1 – бак, 2 – козырёк, 3 – форпик, 4 – верхняя палуба, 5 – грузовые ложи, 6 – рубки, 7 – средняя надстройка, 8 – вторая палуба, 9 – поперечная переборка, 10 – форпиковая переборка, 11 – ахтерпиковая переборка, 12 – трюм, 13 – твиндек (междупалубное помещение), 14 – настил второго дна, 15 – туннель валопровода, 16 – ахтерпик, 17 – ют, 18 – фальшборт, 19 – световой люк МО

В корме судна над ахтерпиком устроено румпельное отделение, служащее для размещения механизмов рулевого устройства. Для ориентации местоположения того или иного помещения на судне приняты следующие названия палуб и междупалубных помещений

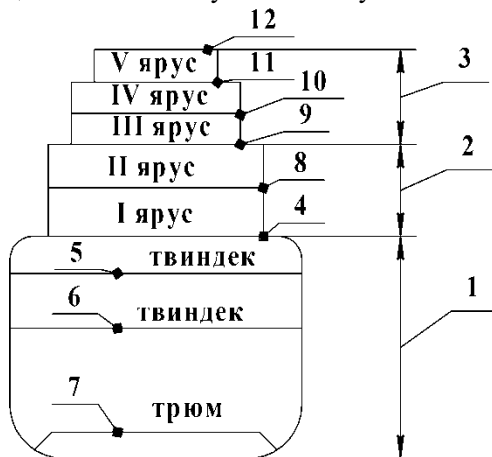


Рис. 18 **Наименование палуб и междупалубных помещений:** 1 – основной корпус, 2 – надстройка, 3 – рубки, 4 – верхняя палуба, 5 – вторая палуба, 6 – третья (нижняя) палуба, 7 – настил второго дна, 8 – палуба надстройки I яруса (палуба бака, юта, и т.д.), 9 – палуба рубки II яруса, 10 – палуба рубки III яруса (шлюпочная палуба), 11 – палуба рубки IV яруса (нижний, ходовой мостик), 12 – палуба рубки V яруса (верхний, навигационный мостик)

Первая сверху палуба, непрерывно простирающаяся от борта до борта по всей длине судна, называется верхней палубой. На добывающих судах её называют также промысловой палубой. Верхняя палуба имеет искривления в продольном и поперечном направлениях. Искривление палубы в продольном направлении называется седловатостью, в поперечном – погибью. Седловатость обеспечивает судну меньшую заливаемость и улучшает его способность держаться на воде при получении пробоины; погибь облегчает сток воды, попадающей во время шторма на палубу.

Архитектурно-конструктивные типы судов

Архитектурно-конструктивный тип судна определяется его внешней формой, а также числом палуб основного корпуса.

Внешняя форма судна зависит от формы основного корпуса; числа, расположения и формы надстроек и рубок; местоположения

главных механизмов и формы дымовых труб; типа и расположения грузового устройства, рангоута (мачт) и т.д.

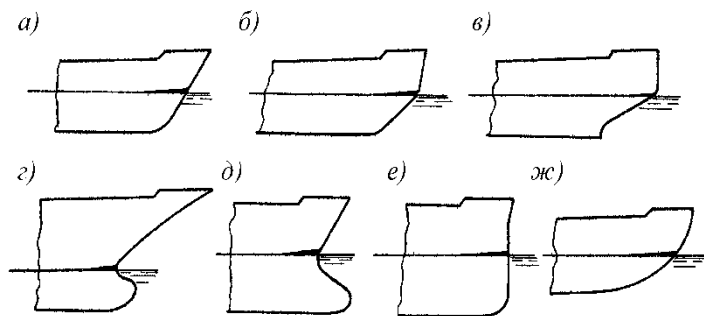


Рис. 11 Типичные формы носовой оконечности морских судов: а – обыкновенный нос транспортного судна с прямым наклонным форштевнем, б – нос судна ледового плавания («полуледокольная» форма), в – нос ледокола, г – клиперский нос с «бульбом» быстроходного пассажирского лайнера, д – бульбообразный нос, е – цилиндрический нос супертанкера, ж – ложкообразный нос рыбопромыслового судна

Форма основного корпуса характеризуется формой штевней, линии седловатости и килевой линии, обводами кормовой оконечности, определяемыми количеством гребных винтов, формой борта на миделе и т.д. На Рис. 11 показаны наиболее распространенные *формы носовой оконечности* морских судов.

У обычных морских транспортных судов форштевень прямой, с наклоном вперед; это придает форме корпуса стремительность, улучшает всхожесть судна на волну и уменьшает заливаемость палубы. Транспортные суда ледового плавания, а также некоторые буксиры имеют так называемую полуледокольную форму носовой оконечности – с наклоном форштевня в подводной части на $40\text{--}50^\circ$ и с почти вертикальной надводной частью форштевня. Наклон форштевня в подводной части улучшает условия плавания в битом льду, а почти вертикальный форштевень в надводной части позволяет следовать судну за ледоколом при проводке через ледяные поля, упираясь носом в специальный выем в корме ледокола. Для улучшения ледовых качеств ледоколов их форштевень в подводной части выполняют с большим наклоном (примерно $25\text{--}30^\circ$).

На быстроходных пассажирских с сухогрузных судах носовая оконечность имеет бульбообразную форму в подводной части и клиперские образования в надводной. Наличие бульба, как указывалось выше, уменьшает волнообразование и способствует

уменьшению сопротивления воды движениям судна, а клиперский нос позволяет получить более стремительную форму и уменьшает заливаемость палубы (название «клиперский» перешло от парусных судов – клиперов, имевших аналогичную форму форштевня). В последние годы бульбообразную форму носа широко применяют на танкерах и сухогрузных судах с умеренными скоростями. На супертанкерах получила распространение, наряду с бульбообразной, носовая оконечность цилиндрической формы, несколько похожая на утюг.

Форма кормовой оконечности морских судов (Рис. 12) может быть самой различной, однако наиболее часто встречаются крейсерская, обыкновенная и транцевая корма, а также крейсерская, срезанная в надводной части по форме транца.

Для морских быстроходных транспортных судов (грузовых, пассажирских и пр.) наиболее характерна крейсерская корма. Обыкновенная корма с подзором типична для тихоходных и речных судов, транцевая – для специальных судов, быстроходных катеров и т.п. В последнее время транцевую форму кормы в надводной части и крейсерскую – в подводной широко применяют на морских транспортных и крупных промысловых судах.

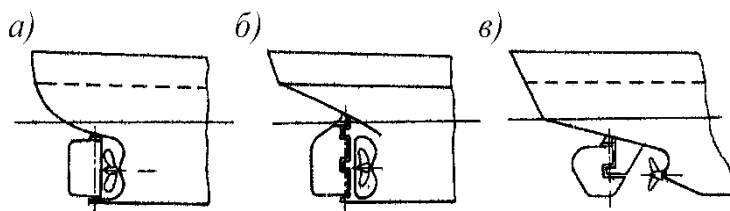


Рис. 12 Типичные формы кормовой оконечности морских судов: а – крейсерская корма, б – обыкновенная корма с подзором, в – транцевая корма

Форма кормовой оконечности в значительной мере зависит от количества гребных винтов. У одновинтового судна в ДП в районе расположения винта делают достаточно большой разрез, или «окно», в ахтерштевне. У двухвинтового судна обводы в корме также должны обеспечить размещение гребных винтов. Поэтому, когда говорят об архитектурном типе судна, обязательно указывают, сколько гребных винтов оно имеет. Форму подводной части кормы характеризует

также форма и протяжённость *дейдвуда* – узкой оконечности корпуса, в которую переходит килевая балка.

Седловатость верхней палубы, представляющая собой плавный подъём палубы от миделя в нос и в корму, также влияет и на внешний вид судна. Различают суда со стандартной седловатостью (определяется по Правилам о грузовой марке), суда с уменьшенной или увеличенной седловатостью и суда без седловатости. Часто седловатость выполняют не плавно, а прямыми участками со слоями – два-три участка на половине длины судна. Благодаря этому верхняя палуба не имеет двоякой кривизны, что упрощает её изготовление.

Килевая линия большинства судов представляет собой горизонтальную прямую. Однако некоторые типы судов, например, портовые буксиры, промысловые суда и пр., имеют наклонную килевую линию, т.е. так называемый конструктивный дифферент на корму (или, реже, на нос). Этим достигается лучшая поворотливость судна.

Форма борта на миделе бывает плоской или, редко, скруглённой, вертикальной или наклонной (у судов ледового плавания).

Практическое занятие 3

Тема: Рулевое устройство

Порядок выполнения работы:

Изучить основные элементы рулевого устройства судна..

Содержание выполненной работы:

Выписать все основные элементы рулевого устройства, выучить терминологию.

Общие сведения

Рулевое устройство обеспечивает управляемость судна, т.е. позволяет удерживать судно на заданном курсе и изменять направление его движения.

Пассивные средства могут обеспечивать управление судном только при его движении, так как необходимое для этого усилие возникает за счет взаимодействия воды с перемещающимися элементами устройства. Судовой руль, являющийся наиболее распространенным средством управления, относится к пассивным средствам.

Активные средства обеспечивают необходимое управляющее воздействие независимо от того, движется судно или нет. К этой группе относятся движительно-рулевые устройства, поворотные насадки, активные рули и многочисленные подруливающие устройства.

Рулевое устройство морского судна состоит из пера руля, баллера, румпеля, рулевого привода, рулевой машины, рулевой передачи и поста управления (Рис. 13)

Перо руля закрепляется на элементах конструкции кормовой оконечности судна и соединяется с баллером, который вводится в корпус судна через гельмпорттовую трубу. В местах прохода баллера через палубы и платформы устанавливаются опоры, воспринимающие вес баллера и пера руля и горизонтальные гидродинамические силы. К голове баллера руля крепится румпель, соединяемый с рулевым приводом, который в свою очередь соединен с рулевой машиной. После подачи команды с поста управления через рулевую передачу включается пусковое устройство рулевой машины, которая приводит в действие рулевой привод, передающий усилия на румпель. Последний поворачивает баллер и перо руля относительно их оси вращения. Угол, образованный плоскостью симметрии пера руля до поворота и после него, называют углом перекадки руля.

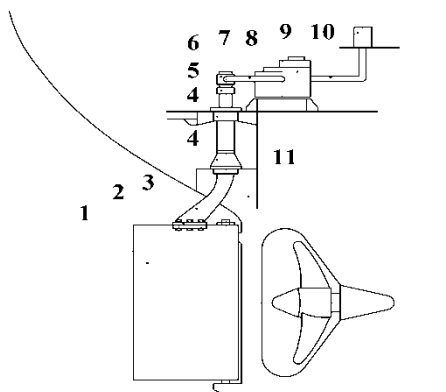


Рис. 13 Схема рулевого устройства морского судна: 1 – перо руля, 2 – фланцевое соединение пера руля с баллером, 3 – баллер; 4 – опоры баллера, 5 – голова баллера, 6 – румпель, 7 – рулевой привод, 8 – рулевая машина, 9 – рулевая передача, 10 – пост управления, 11 – гельмпорттовая труба

Перо руля – это плоский или, чаще, двухслойный обтекаемый щит с внутренними подкрепляющими ребрами, площадь которого у

морских судов составляет $1/40 - 18/60$ площади погруженной части диаметральной плоскости. Внутреннюю полость пера заполняют пористым материалом, предотвращающим попадание воды внутрь. Основу пера руля составляет рудерпис – массивный вертикальный стержень, проходящий по передней кромке пера руля, к которому крепят горизонтальные ребра руля. Вместе с рудерписом отливают (или отковывают) петли для навешивания руля на рудерпост (его иногда заменяют жесткой сварной конструкцией), который является частью ахтерштевня.

Баллер – это вал, при помощи которого поворачивают перо руля. Нижний конец баллера имеет обычно криволинейную форму и заканчивается лапой – фланцем, служащим для соединения баллера с пером руля при помощи болтов. Это разъемное соединения баллера с пером руля необходимо для съема руля при ремонте. Баллер руля входит в кормовой подзор корпуса через гельмпорттовую трубу, служащую для обеспечения водонепроницаемости корпуса. Поддерживается баллер специальным упорным подшипником, расположенным на одной из платформ или палуб. Верхняя часть баллера проходит через второй подшипник и соединяется с румпелем.

Рули принято классифицировать по трем признакам: положению оси баллера относительно передней кромки пера руля, способу крепления пера руля к корпусу судна и форме профиля сечения пера руля горизонтальной плоскостью.

По первому признаку рули делятся на небалансирные, балансирные и полубалансирные. Это зависит от того, каким образом площадь руля расположена относительно оси вращения (оси баллера). У небалансирных рулей ось баллера расположена вблизи передней кромки пера руля. У балансирных рулей ось вращения смещена на некоторое расстояние от передней кромки к середине руля. У полубалансирных рулей балансирная часть имеется не по всей высоте руля. Такой руль условно может быть разделен на две части: балансирную (нижнюю) и небалансирную (верхнюю).

По способу крепления к корпусу судна различают простые, полуподвесные и подвесные рули. Простые рули соединяются с корпусом судна с помощью опор, расположенных на ахтерштевне или корпусе. Число таких опор регистром регламентируется только для судов с категориями ледовых усилений, рули которых должны иметь соответственно не менее трех, двух и одной опоры. Полуподвесные рули имеют одну опору в средней части, подвесные – полностью висят на баллере.

По форме профиля рули бывают плоскими и обтекаемыми. Обтекаемые нашли наибольшее признание, так как при достаточно высокой прочности имеют по сравнению с плоскими рулями более высокие гидродинамические качества и лучше взаимодействуют с гребными винтами.

Рулевой привод предназначен для передачи на баллер момента, необходимого для поворота руля и удержания его в нужном положении.

Для обеспечения безопасности плавания судов рулевое устройство любого судна должно быть снабжено двумя независимыми приводами – главным и вспомогательным. Главный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля или насадки с 35° одного борта на 35° другого борта при движении судна передним ходом с максимальной скоростью. Время перекладки руля не должно превышать 28 с. Вспомогательный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля (поворотной насадки) с 15° одного борта на 15° другого борта не более чем за 60 с. при движении судна передним ходом со скоростью, равной половине максимальной, но не менее 7 уз.

Главный и вспомогательный рулевые приводы или, по крайней мере, один из них рекомендуется располагать над самой высокой грузовой ватерлинией.

Если это невозможно, то на судне предусматривается аварийный рулевой привод, располагаемый выше палубы переборок. аварийный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля (поворотной насадки) с борта на борт при скорости переднего хода судна не менее 4 уз.

Главный и вспомогательный рулевые приводы должны действовать на баллер руля или поворотной насадки независимо один от другого, в противном случае допускается, чтобы главный и вспомогательный рулевые приводы имели некоторые общие части (румпель, сектор, редуктор или цилиндрический блок), при этом конструктивные размеры общих частей должны быть увеличены.

Румпельный привод представляет собой одноплечий рычаг - румпель, один конец которого соединен с верхним концом баллера, а другой – с тросом, цепью или гидросистемой, предназначенными для связи с рулевой машиной или постом управления. Этот привод применяют на небольших судах.

Рулевые машины и рулевые передачи

На современный промысловых судах в основном устанавливают гидравлические и электрогидравлические рулевые машины, исполнительным органом которых являются плунжерные или лопастные рулевые приводы. Эти рулевые машины имеют насосы, гидравлические коммуникации, емкости рабочей жидкости и системы управления. В электрогидравлических рулевых машинах для привода насосов используются электродвигатели. На небольших промысловых судах устанавливают также ручные и электрические рулевые машины. Ручные рулевые машины различают по их мощности, которая характеризуется тягой на рабочем барабане.

Средства активного управления

Средства активного управления судами (САУС) – это специальные двигательно-рулевые устройства и их любое сочетание либо между собой, либо с главными движителями, способные создавать упор или тягу, направленные как под фиксированным углом к диаметральной плоскости судна, так и под изменяющимся углом, либо на всех ходовых режимах, либо на части режимов, включая малые хода, а также при отсутствии хода.

На промысловых судах в качестве САУС применяют активные рули, подруливающие устройства, выдвижные движительно-рулевые колонки (винтовые колонки) и крыльчатые движители.

Активный руль. Перо активного руля в средней части имеет насадку, внутри которой располагается гребной винт фиксируемого или регулируемого шага. Диаметр гребного винта составляет 20-25% диаметра основного винта. Гребной винт приводится во вращение электродвигателем, который размещается либо в пере руля, либо на торце баллера. В последнем случае вращение от двигателя к гребному винту передается с помощью вертикального вала, проходящего внутри полого баллера. Действие активного руля основано на том, что при его повороте возникает дополнительная поперечная сила от упора винта, поворачивающая судно совместно с поперечной силой, возникающей на пере руля. На больших скоростях движения активный руль мало эффективен, так как гидродинамическая сила руля намного превосходит упор, развиваемый винтом. На малых скоростях, когда гидродинамические силы на пере руля резко падают, активный руль становится весьма полезным. Применение активного руля на промысловых судах обеспечивает им хорошую управляемость при работе с орудиями лова и при выполнении швартовных операций в море и порту.

Подруливающие устройства. Подруливающие устройства улучшают маневренность судна на малых ходах и при отсутствии хода. Подруливающие устройства не взаимодействуют с гребным винтом судна и являются совершенно самостоятельным средством управляемости. В последнее время на промысловых судах начали широко применять подруливающие устройства канального типа. Такое устройство состоит из движителя, размещенного в поперечном канале, который простирается в подводной части судна от борта до борта. Движитель в перпендикулярном к диаметральной плоскости направлении создает упор, поворачивающий судно. Для создания упора в подруливающих устройствах используют *ВФШ* и *ВРШ*, крыльчатые движители и водометы. Приводными механизмами рабочих органов подруливающих устройства могут быть водопогруженные или размещенные внутри корпуса судна электромоторы и гидромоторы.

Винтовые колонки. Винтовые колонки оборудуются гребным винтом или комплексом винт-насадка. Колонка, благодаря своей конструкции, может вращаться вокруг вертикальной оси на 360° , что позволяет получать тягу любого направления, не прибегая к реверсу двигателя. Чтобы не создавать дополнительного сопротивления воды движителю судна, на ходу под главными двигателями колонка поднимается в специальную шахту. Винтовые колонки имеют небольшие габариты и могут быть размещены в любой части судна. Установка двух колонок в корме позволяет судну разворачиваться и перемещаться лагом. Мощность двигателя винтовой колонки составляет 30–500 кВт, диаметр гребного винта – 0,60–1,25 м. При указанной мощности колонка развивает тягу от 5,9 до 78,5 кВт.

Крыльчатый движитель. Крыльчатый движитель применяется в качестве подруливающих устройств, как правило, на больших судах, что связано с условиями их размещения, исключаящими существенное изменение формы корпуса судна. Из-за выступающих за днище лопастей подруливающее устройство с крыльчатым движителем имеет низкую надежность. На промысловых судах такие подруливающие устройства применения не нашли.

Практическое занятие 4

Тема: Якорное устройство.

Порядок выполнения работы:

Изучить основные элементы якорного устройства судна.

Содержание выполненной работы:

Выписать все основные элементы якорного устройства, выучить терминологию.

Общие сведения

Якорное устройство представляет собой совокупность приспособлений и механизмов, служащих для постановки судна на якорь. Элементы якорного устройства могут быть использованы и для других целей, например для буксировки, гашения инерции, стаскивания судна с мели и т.д. По месту расположения различают носовые и кормовые якорные устройства. На промысловых судах якорное устройство обычно размещают в носовой части судна.

Основные элементы якорного устройства морского судна показаны на Рис. 14. Якорный канат служит прочной связью судна с отданным и лежащим на грунте якорем. Специальные механизмы обеспечивают отдачу и выбирание якоря, торможение и стопорение якорного каната. В якорное устройство входят также клюзы, позволяющие якорному канату пройти сквозь элементы корпусных конструкций, и цепные ящики для хранения якорных канатов.

Основные типы якорей

Надежность якорной стоянки определяется держащей способностью якоря. Якоря в зависимости от их назначения разделяют на становые, предназначенные для удержания судна в заданном месте, и вспомогательные – для удержания судна в заданном положении во время стоянки на основном якорю. К вспомогательным относится кормовой якорь – стоп-анкер, масса которого составляет 1/3 массы станового. Становые якоря можно разделить на две группы: якоря с неподвижными лапами и штоком и бесштоковые якоря с поворотными лапами. К штоковым якорям относится адмиралтейский якорь. К бесштоковым – якоря Холла, Грузона.

Адмиралтейский якорь (Рис. 15, а) состоит из веретена 1, тренда 2, рогов 3 и лап 4. В верхней части веретена сделаны две проушины. В одну из них вставляется шток 5, в другую – штырь якорной скобы 6, с помощью которой якорь крепится к якорной цепи. В походном положении шток укрепляется вдоль, а в рабочем – поперек веретена. Плоскость, образованная штоком и веретеном, перпендикулярна плоскости рогов якоря. Когда примыкающая к якорю смычка цепи лежит на грунте, на нем также лежит и шток, а лапа якоря упирается в грунт своим острием. Под действием собственного веса и натяжения цепи лапа зарывается в грунт, чем и создается держащая сила якоря.

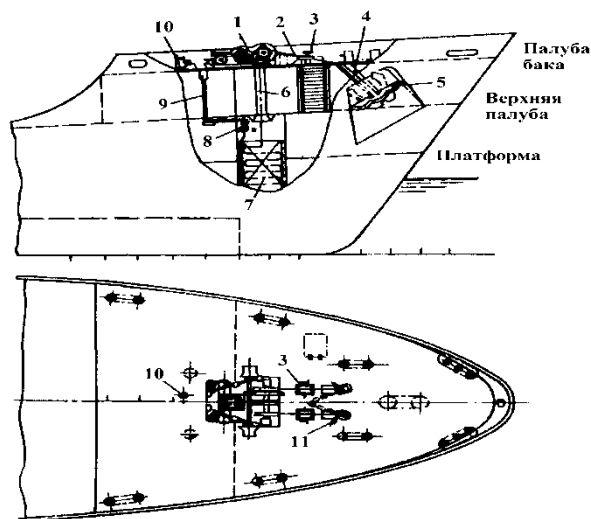


Рис. 14 Расположение якорного устройства: 1 – брашпиль, 2 – якорная цепь, 3 – винтовой стопор, 4 – клюз якорный, 5 – якорь, 6 – цепная труба, 7 – цепной ящик, 8 – устройство для крепления якорной цепи, 9 – привод экстренной отдачи якорной цепи, 10 – контроллер управления брашпилем, 11 – цепной стопор

У адмиралтейских якорей в величину массы якоря входит масса штока. Масса штока должна составлять 20% общей массы якоря, включая якорную скобу. Адмиралтейский якорь по сравнению с другими якорями обладает рядом преимуществ: быстро зарывается в грунт, легко выходит из него при выборе якорной цепи, состоит из минимального числа деталей и имеет большую держащую силу, оцениваемую обычно в шесть-восемь весов якоря.

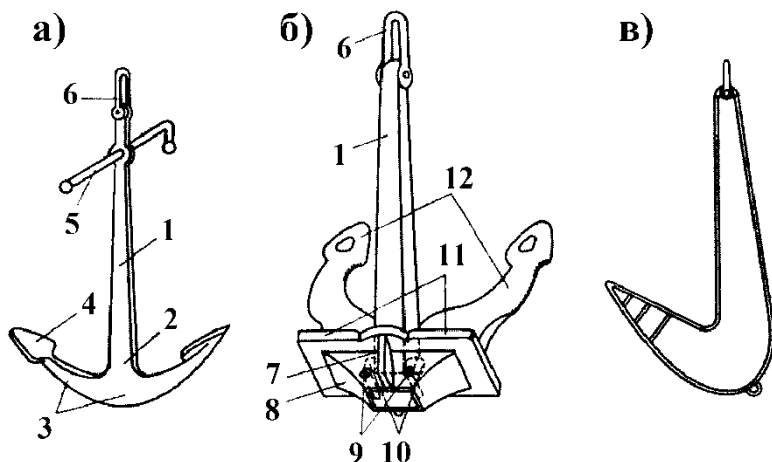


Рис. 15 Типы якорей

Все эти качества, особенно последнее, обеспечили в свое время адмиралтейскому якорю самое широкое распространение на флоте. Но ему свойственны и существенные недостатки. На мелководье вторая лапа якоря может повредить корпус судна. Наличие штока делает трудоемкими процессы подготовки якоря отдаче и уборке его в походное положение. Поэтому с появлением механизмов для подъема якорей, когда вес якоря перестал являться решающим фактором, адмиралтейские якоря в качестве станových уступили свое место бесштоковым якорям с поворотными лапами.

Якорь Холла (Рис. 15, б) состоит из двух шарнирно соединенных между собой основных частей: веретена 1 и головной части 7. Сверху к веретену крепится якорная скоба 6. Головная часть якоря имеет коробку 8, песчоники 11 и лапы 12. Шарнирное соединение веретена с головной частью осуществляется с помощью двух закрепленных на веретене полуосей 9, которые вводят в пазы головной части и закрепляют в ней штырями 10. Веретено вставляют в головную часть якоря снизу через отверстие в коробке. Простота конструкции соединения веретена с головной частью является одним из преимуществ якоря Холла.

Когда якорь Холла отдан и лег на грунт, он начинает ползти под действием натяжения якорной цепи. Песчоники при этом загребают грунт и разворачивают вниз лапы якоря, которые зарываются внутрь,

и якорь приобретает держащую силу. Недостатком якоря Холла является низкая удельная держащая сила.

Якорь Грузона имеет характеристики, аналогичные характеристикам Якоря Холла.

Ледовые якоря (Рис. 15, в) используются на ледоколах и судах ледового плавания. В качестве якорных канатов применяются стальные тросы. Постановка ледового якоря осуществляется следующим образом: после выгрузки на лед якорь относится вручную или отвозится на некоторое расстояние от судна и закрепляется во льду.

Держащая сила ледового якоря не имеет прямой связи с его весом, который не должен превышать 130–180 кг. Она определяется прочностью льда и прочностью лапы якоря. Для увеличения жесткости лапы якоря и его веретено обычно имеют двутавровое сечение.

Конструкция якорных канатов

Якорная цепь служит для крепления якоря к корпусу судна. Она состоит из звеньев (Рис. 16), образующих смычки длиной 25–27,5 м, соединенные одна с другой при помощи специальных звеньев. Смычки образуют якорную цепь длиной от 50–300 м. В зависимости от расположения в якорной цепи различают якорную (крепящуюся к якорю), промежуточные и коренную (крепящуюся к устройству для отдачи цепи) смычки.

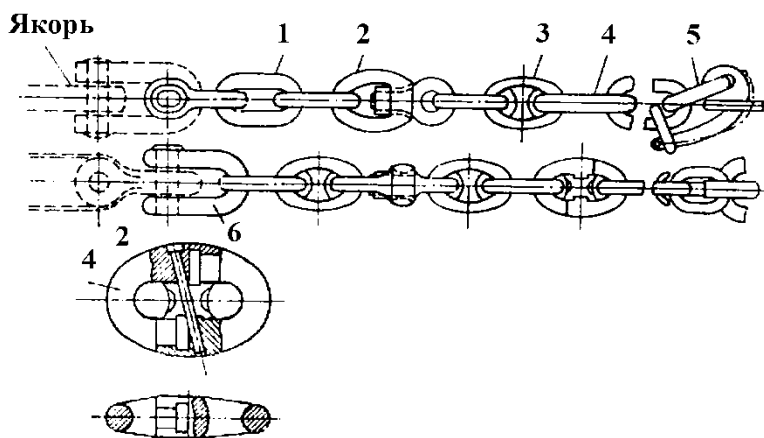


Рис. 16 Элементы якорной цепи: 1 – концевое звено, 2 – вертлюг, 3 – звено обыкновенное, 4 – звено соединительное, 5 – глаголь-гак, 6 – концевая скоба

Каждая смычка состоит из нечетного количества стальных звеньев, которые бывают обыкновенные, усиленные и концевые. Все они имеют овальную форму, но отличаются по конструкции. Обыкновенные звенья, составляющие основную массу смычки, а также усиленные – предпоследние в начале и в конце каждой смычки, имеют чугунные распорки – контрфорсы. Контрфорс, имеющий на концах желобки по диаметру стали звена, вставляется в разогретое сварное звено. Остывая, звено крепко зажимает контрфорс. В литых цепях контрфорсы отливаются заодно со звеном, поэтому ослабление или выпадение их в таких цепях исключается. Контрфорсы предупреждают деформацию звеньев при натяжении якорной цепи, увеличивая ее прочность примерно на 20%. Усиленно звено несколько больших размеров, чем обыкновенное, и немного толще его. Главной характеристикой якорной цепи является ее калибр. Диаметр d поперечного сечения прутка общего звена, выраженный в миллиметрах, называется калибром якорной цепи. Калибр и все другие звенья цепи стандартизированы. Для соединения смычек используются соединительные скобы и соединительные звенья.

Для предотвращения скручивания якорной цепи в нее включают вертлюги. Якорная цепь крепится скобой жвака-галсовой смычки к обуху, связанному с жесткими корпусными конструкциями. Жвака-галсовая смычка короткая и имеет глаголь-гак, который необходим для быстрой отдачи якорной цепи за борт.

В последние годы для отдачи якорной цепи вместо глаголь-гака, который небезопасен при отдаче цепи, стали применять откидные якорные гаки с дистанционным приводом. Принцип действия откидного якорного гака такой же, как и глаголь-гака, с той лишь разницей, что стопор откидного гака отдается при помощи дистанционного валикового или иного привода. Управление этим приводом расположено непосредственно у якорного механизма. откидной якорный гак с дистанционным приводом имеет большое преимущество перед глаголь-гаком в смысле безопасности и быстроты отдачи якорной цепи.

Маркировку смычек производят по схеме: конец первой и начало второй смычек – окрашивают последнее звено с контрфорсом первой смычки и первое такое же звено второй смычки, а на контрфорсы этих звеньев кладут марки из проволоки; конец второй и начало третьей смычек – окрашивают два звена с контрфорсами в конце второй смычки и два таких же звена в начале третьей смычки, а на контрфорсы вторых звеньев кладут проволочные марки; конец

третьей и начало четвертой смывчек – окрашивают три звена с контрфорсами в конце смывчки и три таких же звена в начале четвертой смывчки, а на контрфорсы третьих звеньев накладывают проволочные марки.

По такой же схеме маркируют звенья до конца пятой и начала шестой смывчек, где будет окрашено по пять звеньев, а шлагги из проволоки будут наложены на контрфорсы пятых звеньев. С конца шестой смывчки маркировку повторяют.

Якорные клюзы предназначены для направления движения якорной цепи при выборе или отдаче якоря. Якорные клюзы состоят из клюзовой (якорной) трубы, палубного клюза и бортового клюза.

При движении от якорного механизма якорная цепь пересекает плоскость палубы, проходит наклонно через верхнюю часть внутреннего помещения носовой оконечности судна и, пересекая плоскость борта, направляется вниз. При пересечении плоскостей палубы и борта ось якорного каната имеет сломы. В этих местах располагаются палубный и бортовой раструбы. Оба раструба соединяются якорной трубой.

В зависимости от особенностей проектируемого судна на нем может быть использован один из трех типов клюзов: обычный, открытый и клюз с нишей. Бортовые и палубные раструбы клюзов выполняют стальными литыми и имеющими утолщения в местах прохода цепи. Их сваривают с якорной трубой и приваривают к палубе и борту. Шток якоря по-походному входит в трубу; снаружи остаются только лапы якоря. Клюз с нишей выполняется стальными сварными конструкциями, представляющими собой углубление в бортах судна, в которое входят лапы якоря. При якорных клюзах с нишами якоря не выступают за обводы корпуса.

Цепные стопоры

В зависимости от выполняемых функций цепные стопоры делятся на маневренные и стояночные.

Маневренные стопоры предотвращают передачу усилий на якорные механизмы (шпиль или брашпиль) при маневрировании стоящего на якорю судна или при ремонте якорных механизмов. На практике применяют два типа маневренных стопоров: винтовой и стопор с закладным палом, или «закладной».

В винтовом стопоре движение цепи ограничивается, если горизонтально ориентированное звено упирается в две щеки, которые укреплены шарнирно. В открытом положении щеки дают

возможность цепи свободно скользить по желобу в фундаменте стопора. Вращение щек осуществляется винтом с противоположными нарезками. Чтобы цепь при движении не могла повредить винт, стопор имеет ограничивающую скобу.

Закладной стопор состоит из двух неподвижных щек, позволяющих цепи свободно проходить между ними по выемке, соответствующей форме нижней части вертикально ориентированного звена.

Использование маневренных стопоров для закрепления цепи при длительной стоянке на якоре допускается только в виде исключения при благоприятных погодных условиях.

Оба рассмотренных стопора фиксируют закрепляемое звено неподвижно. При попытке остановить винтовым стопором движущуюся цепь происходит следующее: во время прохода через стопор вертикально ориентированного звена щеки сближаются и горизонтальное звено упирается в них своей передней частью – происходит мгновенная остановка цепи.

Возникающий при этом рывок чрезвычайно опасен, так как он может привести к разрыву цепи. Поэтому перед стопорением цепь должна быть заторможена и остановлена ленточным тормозом якорного механизма.

Стояночный стопор. При длительной стоянке для цепей со средним калибром применяется специальный стояночный стопор. Он представляет собой короткую смычку, один конец которой закрепляется на палубе, а второй заканчивается массивным глагольгаком. Калибр смычки равен калибру основной цепи судна. Цепные стояночные стопоры применяются только для цепей калибром до 43 мм. Большой вес стояночных стопоров затрудняет их использование для более толстых цепей, для стопорения которых используется тормоз якорных механизмов.

Цепной ящик представляет собой выгородку, сделанную в носовой части судна, предназначенную для хранения якорной цепи на судне. При выборке якорей цепь каждого станового якоря укладывают в отведенное для нее отделение цепного ящика. Каждое отделение имеет квадратную или круглую форму в плане. Металлические стенки цепного ящика изнутри обшивают деревом, а на пол укладывают деревянную решетку.

Размеры цепного ящика должны обеспечить самоукладку якорной цепи при выборке якоря без ее растаскивания вручную. На дне цепного ящика под центром цепной трубы установлен мощный

полуовальный рым, через который якорная цепь, меняя направление, подводится к откидному якорному гаку. Цепной ящик имеет самостоятельное осушение. Конструкция цепного ящика и закрытие отверстий для доступа в него должны быть водонепроницаемыми, насколько это необходимо, чтобы случайное затопление цепного ящика не повредило ответственные вспомогательные устройства или оборудование или не повлияло на надлежащую эксплуатацию судна. На подволоке или переборке цепного ящика предусматривается устройство для крепления коренного конца якорной цепи, позволяющее быстро отдать цепь.

Якорные механизмы служат для отдачи и подъема станковых якорей, а также для удержания судна при отданных станковых якорях.

Основной деталью любого якорного механизма является цепной кулачковый барабан (звездочка). В зависимости от направления оси звездочки якорные механизмы делятся на две группы.

Брашпили

Горизонтальное направление оси звездочки является отличительной чертой брашпильей. Брашпиль обслуживает обе якорные цепи и используется также в швартовых операциях. Он обеспечивает раздельную работу звездочек левого и правого бортов. Электродвигатель посредством механической передачи приводит во вращение вал, на котором насажены две турачки. С помощью промежуточных шестерен или муфтового соединения вал турачек может передавать вращение на звездочки брашпиля. Каждая звездочка представляет собой массивный шкив, имеющий две рабочие поверхности. Первая из них – фигурная, выполненная по форме звеньев якорной цепи так, что цепь плотно прилегает к звездочке и не может пробуксовывать. Вторая поверхность цилиндрическая. К ней прилегают тормозные пластины ленточного стопора, с помощью которого звездочка может быть заторможена или застопорена. При отдаче якоря или во время швартовых операций звездочки разобщены с валом турачек, при выборе якоря – сообщены.

Брашпили не занимают внутренних помещений, так как все механизмы располагаются на палубе.

Два вспомогательных барабана – турачки – предназначены для швартовых операций.

Шпили

У спилей ось звездочки вертикальна. Шпили предназначены для работы только с одной цепью. Весь механизм обычно разделен на две

части, из которых одна, состоящая из звездочки и швартовного барабана, располагается над палубой, а вторая, включающая редуктор и двигатель – в помещении под палубой. Электромотор вращает барабан. С помощью муфты барабан может сообщаться с расположенной под ним звездочкой. По удобству обслуживания самого якорного устройства брашпиль и шпиль практически равноценны.

Практическое занятие 5

Тема: Грузовое устройство

Порядок выполнения работы:

Изучить основные элементы грузового устройства судна..

Содержание выполненной работы:

Выписать все основные элементы грузового устройства, выучить терминологию.

Грузовые устройства промысловых судов предназначены для перегрузочных операций в море и порту, выполнения вспомогательных работ с орудиями лова, постановки и снятия кранцевой защиты и пересадки людей с судна на судно. Перегрузочные операции в открытом море характеризуются высокой интенсивностью, поэтому их вынуждены проводить на волнении, при ветре и качке судна. Для этих условий наиболее приемлемыми оказываются устройства с грузовыми стрелами, которые получили широкое распространение на промысловых судах. Для выполнения грузовых операций такие устройства оснащены системой блоков и тросов, закрепленных вне стрелы на неподвижных судовых конструкциях – мачтах, колоннах, палубах и т.д. Чтобы сократить время на перегрузочные работы в море, из стреловых грузовых устройств судов создаются специальные перегрузочные комплексы, состав и оснастка которых зависят от размеров и общего расположения отшвартованных друг к другу судов, массы передаваемых грузов, волнения, ветра и т.п.

Мачты грузовые

Эти мачты несут на себе стрелы и обладают достаточной прочностью, чтобы обеспечить нормальные и безопасные условия

работы при соответствующей грузоподъемности устройства. На Рис. 17 показаны различные типы грузовых мачт, применяемых на современных судах.

а) Одиночная грузовая мачта (Рис. 17, а) представляет собой стальную трубчатую конструкцию, сваренную из отдельных стальных обечаек. Такие мачты устанавливают в диаметральной плоскости судна и применяют на широких судах, так как иначе при одиночной мачте трудно обеспечить большой вылет стрелы за борт, который в зависимости от грузоподъемности устройства должен быть от 2 до 8 м.

б) Одиночные мачты с салингом и краспицей (Рис. 17, б) устанавливают в диаметральной плоскости судна. Если мачта установлена между двумя грузовыми люками, то к ней крепится четыре стрелы. Салинг и краспица, вынося места крепления стрелы ближе к борту, увеличивают вылет стрелы за борт.

в) Одиночная мачта с салингом и краспицей, опертой на две колонки (Рис. 17, в), позволяет избавиться от консольного конца краспицы и тем самым снизить величину изгибающего момента в краспице и в опорном сечении мачты.

г) Одиночная мачта с опорной рубкой (Рис. 17, г). При такой конструкции мачту можно не пропускать через палубу для лучшего закрепления ее в корпусе судна: крыша рубки является надежной второй опорой мачты.

д) П-образная мачта (Рис. 17, д) состоит из двух полумачт, соединенных в верхней части длинным салингом ферменной конструкции. В диаметральной плоскости, на салинге, устанавливают стеньгу для несения ходовых огней и флага.

е) Л-образная мачта (Рис. 17, е) позволяет отказаться от вант и штагов, которые мешают работе стрел.

ж) Грузовую колонну (Рис. 17, ж), которая также является разновидностью мачт, устанавливают обычно у бортов судна.

Грузовые стрелы служат для подвески грузового блока или грузовых талей и для перемещения груза в горизонтальной плоскости.

Грузоподъемность стрелы – это наибольшая масса безопасно поднимаемого груза, включая массу вспомогательных приспособлений, применяемых для крепления груза: стопоров, платформ, сеток и т.п., а также грейферов, грузоподъемных электромагнитов, кабелей и бадей.

Стрелы подразделяются на легкие, грузоподъемностью до 10 т, и тяжеловесные, грузоподъемностью более 10 т. Грузоподъемность тяжеловесных стрел может достигать 300 т.

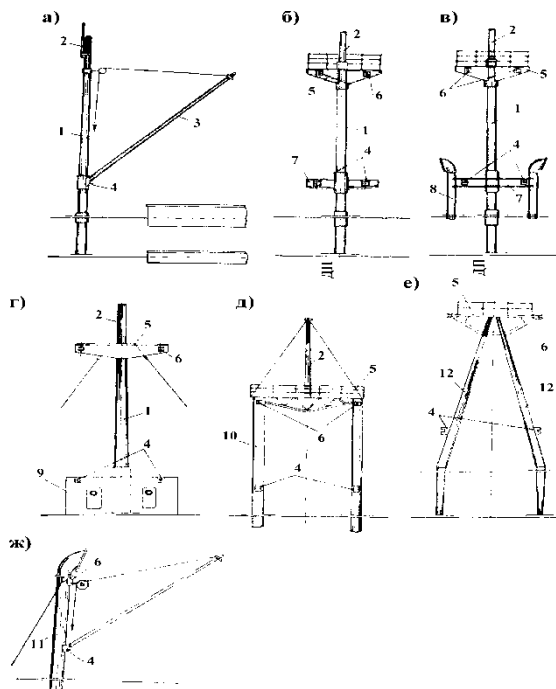


Рис. 17 Схемы грузовых мачт и колонок: а – одиночная без салинга, б – одиночная с салингом и краспицей, в – одиночная с салингом и краспицей, опертой на две колонки, г – одиночная с опорной рубкой, д – П-образная мачта, е – Л-образная мачта, ж – грузовая колонка; 1 – мачта, 2 – стеньга, 3 – стрела, 4 – башмаки стрел, 5 – салинг, 6 – обухи топенантов, 7 – краспица, 8 – вентиляционные колонки, 9 – рубка, 10 – полумачта, 11 – грузовая колонна, 12 – укосины

а) **Легкая грузовая стрела** представляет собой круглую полую стальную трубу с утолщением в средней части. Верхняя часть трубы называется коком, средняя веретеном, нижняя – шпором.

Шпор снабжен вилкой 7, шарнирно соединенной с вертлюгом 2, который вставлен в подшипник башмака, приваренного к мачте 1 от выскакивания из подшипника вертлюг предохраняется стопором. Конструкция опоры стрелы обеспечивает ее поворот в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Шпоры для получения наибольшего вылета легких стрел устанавливаются на некотором расстоянии от диаметральной плоскости судна.

Вылет стрелы – это максимальное расстояние между центром тяжести поднятого груза и вертикальной осью вращения вертлюга шпора стрелы.

К верхней части стрелы – ноку – крепится бугель или обухи для топенанта 5, оттяжек 6 или грузового блока.

Для изменения угла наклона (вылета) стрелы служит топенант, который крепится к обуху на ноке стрелы и пропускается через направляющий блок топенанта 25. На современных промысловых судах топенанты обслуживаются выюшками, имеющими собственный привод и стопорное устройство для удержания нагруженной стрелы. Такие выюшки предназначены для крепления ходового конца топенанта легких стрел и изменения угла их наклона без груза на гаке.

Грузовой шкентель 12 предназначен для подъема и опускания груза. На ходовом конце шкентеля закреплен грузовой гак 19, к которому подвешивается груз. За гаком установлены вертлюг 18 и противовес. Вертлюг исключает вращение груза при раскручивании шкентеля во время его прохождения через грузовой блок. Противовес необходим для натяжения ненагруженного троса. Шкентель, проходя через грузовой блок 15, подходит под стрелой к направляющему блоку 13, который в любом положении стрелы направляет шкентель на турачку грузовой лебедки 22.

Оттяжки служат для фиксирования стрелы в положении «над люком» или «за бортом», а также для перевода ее из одного положения в другое при выполнении грузовых операций. Каждая стрела имеет две оттяжки – одну левого, другую правого борта. Оттяжки изготовляют из стального троса (мантыля) 33, верхний конец которого крепится к обуху оттяжки 6, а нижний – к талям оттяжек 27. Тали легких стрел могут иметь лопарь из растительного троса. Нижний блок талей оттяжек 30 крепится к обуху 35, приваренному к палубе или фальшборту.

б) Тяжеловесная грузовая стрела располагается в диаметральной плоскости для обслуживания обоих бортов.

Стрела закрепляется шарнирно на специальном фундаменте 6; этим исключается передача действующих на стрелу сил на мачту и неизбежное усложнение ее конструкции. Очень часто для обслуживания стрел-тяжеловесов используют лебедки легких стрел,

поэтому подъем груза и изменение наклона стрелы могут быть обеспечены только при использовании многошкивных талей.

Для приведения в движение бегучего такелажа грузового устройства применяют **грузовые лебедки**. Обычно их устанавливают на верхних палубах или на крышах мачтовых рубок. По роду привода грузовые лебедки можно разделить на ручные, моторные, паровые, электрические, гидравлические.

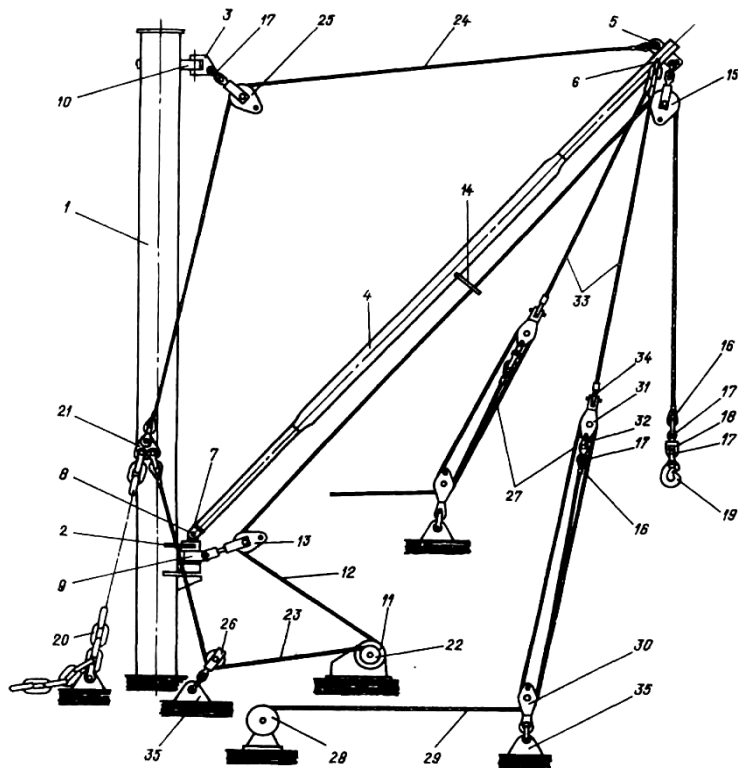


Рис. 18 **Вариант оснастки лёгкой грузовой стрелы:** 1 – грузовая мачта, 2 – вертлюг шпора, 3 – вертлюг топенанта, 4 – стрела, 5 – врезной обух, 6 – обух оттяжки, 7 – вилка шпора стрелы, 8 – ось вертлюга, 9 – обойма направляющего блока грузового шкентеля, 10 – обух топенанта, 11 – грузовая лебедка, 12 – грузовой шкентель, 13 – направляющий (грузовой) блок грузового шкентеля, 14 – направляющая грузового шкентеля, 15 – грузовой блок, 16 – коуш; 17 – скоба, 18 – вертлюг, 19 – грузовой гак, 20 – цепной стопор топенанта, 21 – треугольная планка, 22 – турачка лебедки, 23 – лопарь топенанта, 24 – топенант, 25 – направляющий блок топенанта, 26 – канифас-блок, 27 – таль оттяжки, 28 – лебедка оттяжки, 29 – ходовой конец троса талей оттяжки, 30 – нижний блок оттяжки, 31 – верхний блок оттяжки, 32 – ушко, 33 – мантыль оттяжки, 34 – коуш, 35 – обух с круглой проушиной

Основные термины и определения

Грузовое устройство – предназначено для погрузки, выгрузки, перемещения грузов и продуктов морского промысла.

Грузовая стрела – это устройство, которым выполняются грузовые операции с помощью системы блоков и тросов.

Шпор – нижний конец стрелы шарнирно соединенный с вертлюгом. **Нок** – верхний конец стрелы.

Стеньга – часть рангоута, служащая продолжением верхнего конца мачты.

Салинг – конструкция, служащая для соединения частей вертикального рангоута.

Топенант – трос, служащий для закрепления стрелы над люком трюма под определённым углом к горизонту.

Турачка – боковой барабан на грузовом валу лебёдки (или брашпиля), предназначенный для натяжения и выборки швартовов и т.п.

Штаг – наклонный трос, раскрепляющий мачту вдоль судна.

Шкентель – трос, обеспечивающий вертикальное перемещение груза.

Оттяжка – трос, служащий для поворота грузовой стрелы и её фиксирования в положении «над люком» или «за бортом». Состоит из мантыля и талей.

Гак – стальной крюк, используемый для подъёма груза стрелами, кранами. Глагольгак – откидной крюк.

Топрик – фиксированный трос, соединяющий ноки обоих стрел, который служит для раскрепления стрел при спаренной работе.

Башмак – устройство для закрепления шпора грузовой стрелы на мачте или фундаменте.

Бугель – устройство с четырьмя обухами, жестко насаженное на нок грузовой стрелы для закрепления бегучего такелажа.

Ванты – тросы, устанавливаемые поперек судна для крепления мачты.

Клотик – самая верхняя точка топ-мачты.

Краспица – поперечный брус (распорка) на мачте.

Рангоут – комплекс надпалубных конструкций и деталей, предназначенных для размещения судовых огней, средств связи, крепления грузовых устройств.

Такелаж – совокупность судовых снастей для крепления рангоута и управления грузоподъёмными работами: ванты, штаги, оттяжки и т.п.

Талреп – приспособление для натягивания снастей.

Практическое занятие 6

Определение элементов гребных винтов по диаграммам. Решение задач по судовым двигателям.

Цель работы: Закрепить представление о ходкости судна.

Содержание отчета. Отчет по работе должен включать:

- цель работы
- данные задачи
- расчетные формулы и решение

Теоретическая часть

Основные сведения из гидромеханики

Жидкостью называется физическое тело, для которого характерно свойство текучести, обусловленное тем, что частицы жидкости обладают высокой степенью подвижности относительно друг друга. Различают капельные и газообразные жидкости. Капельные жидкости, к числу которых относится, например, вода, почти несжимаемы. Помещенные в сосуд, они могут занимать часть его объема, имея свободную поверхность. Газообразные жидкости сжимаемы и всегда распространяются по всему объему сосуда. При решении некоторых задач гидромеханики воздух (газообразная жидкость) также может считаться несжимаемым, если скорость его движения относительно невелика. При изучении силового взаимодействия между жидкой средой и находящимся в ней твердым телом в гидромеханике не принимают во внимание молекулярного движения жидкости и рассматривают ее как сплошную среду, не имеющую межмолекулярных промежутков. Такое предположение называется гипотезой непрерывности или сплошности жидкой среды.

Режимы течения жидкости.

В гидромеханике различают два основных режима течения жидкости - ламинарный (слоистый) и турбулентный. При ламинарном движении связь между движущимися слоями осуществляется силами молекулярного сцепления частиц, в результате которого слой жидкости, перемещающийся с большей скоростью, увлекает за собой соседний слой, движущийся с меньшей скоростью, и, наоборот, частицы первого слоя задерживаются

частицами второго.

При турбулентном движении перенос количества движения из одного слоя в другой осуществляется главным образом путем перехода отдельных объемов жидкости из слоя в слой.

Физические свойства жидкости.

Основными механическими свойствами жидкости являются весомость, плотность и вязкость. **Весомость** жидкости характеризуется её удельным весом (или объемным весом).

Удельный вес равен удельной силе тяжести, приложенной к единице занимаемого этой жидкостью объема. Иначе говоря, равен весу единицы объема жидкости.

Плотностью называется масса единицы объема жидкости. Чем отличается масса от веса? Вес = Масса * ускорение свободного падения. Масса измеряется в килограммах, а вес в ньютонах.

Вязкостью жидкости называют свойство, в результате которого в ней появляются силы внутреннего трения, препятствующие сдвигающим усилиям. То есть способность жидкости оказывать сопротивление при скольжении одной её части относительно другой. Например, когда две жидкости равного объёма помещены в идентичные капиллярные вискозиметры (приборы, определяющие вязкость вещества) и двигаются самотеком, вязкой жидкости требуется больше времени для протекания через капилляр. Если одной жидкости требуется для вытекания 200 секунд, а другой - 400 секунд, вторая жидкость в два раза более вязкая, чем первая.

Ходкостью называется способность судна поддерживать заданную скорость при наименьшей затрате мощности двигателя.

Судно движется на границе двух сред - воды и воздуха. Поскольку плотность воды примерно в 800 раз больше плотности воздуха, то и сопротивление воды значительно больше воздушного сопротивления.

Сила, с которой среда препятствует движению судна, называется полным сопротивлением R . Физически полное сопротивление соответствует усилию в тросе при буксировке судна с заданной скоростью, поэтому его часто называют **буксировочным сопротивлением**.

Полное сопротивление состоит из сопротивления воды $R_{вод}$ и воздушного сопротивления $R_{возд}$, т.е.

$$R = R_{вод} + R_{возд}$$

На преодоление этого сопротивления расходуется буксировочная мощность

$$N_{\delta} = RV, \text{ где} \quad (1)$$

N_{δ} - буксировочная мощность, кВт

R -буксировочное сопротивление, кН

V -скорость судна, м/с

Наибольшее влияние на ходкость судна оказывает сопротивление воды.

$$R_{\text{вод}} = R_T + R_p, \text{ где} \quad (2)$$

R_T - сила сопротивления трения

R_p - сила сопротивления давления

Сопротивление трения обуславливается вязкостью жидкости. Благодаря этому свойству жидкости у поверхности движущегося тела образуется пограничный слой, в котором происходит изменение скорости частиц жидкости – от нуля у поверхности тела до так называемой скорости внешнего потока (рис. 19). Понятие толщины пограничного слоя δ является довольно условным, поскольку влияние вязкости распространяется от поверхности тела неограниченно, поэтому полагают, что на расстоянии δ от поверхности тела скорость в пограничном слое составляет 0,995 скорости внешнего потока.

Сопротивление давления возникает частично вследствие влияния вязкости жидкости, частично за счет весомости жидкости. Часть сопротивления давления, обусловленная вязкостью жидкости, называется сопротивлением формы R_f . Оно образуется благодаря тому, что суммарное давление на кормовую часть корпуса меньше чем, на носовую. Уменьшение давления в кормовой части судна происходит из-за потери энергии на преодоление сил вязкости. Это падение давления по природе аналогично падению давления при движении жидкости в трубе. Часть сопротивления, обусловленная весомостью жидкости, называется волновым сопротивлением R_v . Причиной возникновения волнового сопротивления являются волны, образуемые движущимся судном на поверхности воды. При образовании волны происходит перераспределение давления вдоль судна, в результате чего появляется составляющая сопротивления, направленная против движения судна.

Таким образом, сопротивление воды можно представить в виде трех составляющих: $R_{\text{вод}} = R_T + R_f + R_v$ (3). Эти составляющие принято рассчитывать для так называемого «голового» корпуса (корпус без выступающих частей).

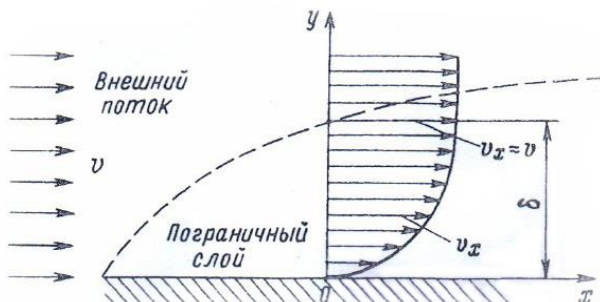


Рис. 19 Пограничный слой.

Выступающие части – рули, кили, кронштейны и т. п. – создают дополнительное сопротивление, которое называется сопротивлением выступающих частей $R_{вч}$. Поэтому окончательно сопротивление воды движению судна записывается в виде

$$R_{вод} = R_T + R_\phi + R_B + R_{вч}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (1), получим зависимость для определения буксировочного сопротивления:

$$R = R_T + R_\phi + R_B + R_{вч} + R_{возд}. \quad (5)$$

При исследовании ходкости судов принимают, что отдельные составляющие сопротивления не зависят друг от друга; хотя это положение в известной мере условно, оно не вносит большой погрешности в результаты расчета.

Определение всех составляющих сопротивления теоретическим путем представляет большие трудности, главным образом из-за сложности обводов судна. Поэтому широко используется экспериментальная оценка сопротивления по результатам испытаний моделей судов. При пересчете результатов модельных испытаний на натурное судно пользуются гипотезой Фруда, который предложил разделять сопротивление воды на сопротивление трения R_T и остаточное сопротивление R_o , т. е. $R_{вод} = R_T + R_\phi + R_B = R_T + R_o$.

Как видим, остаточное сопротивление при таком подходе представляет собой сумму сопротивления формы и волнового сопротивления, т. е. сумму сил разной природы. Тем не менее метод Фруда в разделении и пересчете сопротивления получил широкое распространение при экспериментальных работах и в расчетной практике, главным образом благодаря простоте и приемлемой точности конечных результатов.

При расчете судовых движителей и энергетической установки

буксировочную мощность (в кВт) определяют по формуле:

$$N_{\sigma} = \frac{R_v}{1000} \quad (6)$$

В связи с потерями энергии при работе движителя мощность на гребном валу N_p (мощность, подводимая к движителю) всегда больше буксировочной мощности: $N_p = N_{\sigma} / \eta_d$, где η_d – коэффициент полезного действия движителя.

Еще большее значение имеет мощность на валу двигателя – эффективная мощность N_e , определяемая по формуле:

$$N_e = \frac{N_p}{\eta_v \eta_n} = \frac{N_{\sigma}}{\eta_d \eta_v \eta_n} = \frac{N_{\sigma}}{\eta} \quad (7)$$

Где η – пропульсивный коэффициент судна; η_v – к.п.д. валопровода, учитывающий потери на трение в подшипниках валопровода; η_n – к.п.д. передачи (редуктора, гидромукфы и т. п.)

Ниже приведены примерные числовые значения к.п.д. некоторых механизмов:

Движитель.....	0,50 – 0,75
Валопровод.....	0,95 – 0,99
Редуктор.....	0,94 – 0,98
Гидромукфта.....	0,95 – 0,97

Сопротивление трения

Сопротивление трения зависит от режима движения жидкости в пограничном слое. В зависимости от числа Рейнольдса $Re = \frac{VL_{\sigma}}{\nu}$

режим движения жидкости может быть ламинарным и турбулентным. В ламинарном потоке, который наблюдается при $Re < 5 \cdot 10^5$, жидкость перемещается параллельными слоями не перемешиваясь. При более высоких числах Рейнольдса частицы жидкости начинают перемещаться поперек пограничного слоя, их движение становится более сложным, приобретая зигзагообразный пульсирующий характер. Такой режим движения жидкости называется турбулентным (беспокойным, бурным). При $Re = 5 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^7$ возможно существование обоих видов движения – в носовой части поток будет ламинарным, в кормовой турбулентным. Ламинарный участок пограничного слоя не исчезает полностью и при более высоких числах Рейнольдса, но его влияние на общее сопротивление становится ничтожно малым. Поэтому считают,

что при $Re > 5 \cdot 10^7$ поток будет полностью турбулентным. Поскольку при турбулентном потоке сопротивление трения больше, чем при ламинарном, ламинаризация пограничного слоя может в принципе являться одним из путей уменьшения сопротивления трения.

При определении сопротивления трения судна его корпус принято представлять в виде так называемой эквивалентной гидромеханически гладкой пластины, которая имеет длину и смоченную поверхность, равные длине и смоченной поверхности корпуса судна. Термин **«гидромеханически гладкая пластина»** означает, что дальнейшее уменьшение шероховатости такой пластины практически не скажется на величине сопротивления трения.

На основании выражения для подсчета сопротивления трения судна, представленного в виде пластины, предложить формулу

$$R_t = \frac{1}{2} \zeta_{\text{тп}} \gamma v^2 S \quad (8)$$

где V - скорость судна, м/с; S - смоченная поверхность корпуса, м²; $\zeta_{\text{тп}}$ - коэффициент сопротивления трения гладкой пластины; γ - плотность морской воды, равная 1025 кг/м³. Поскольку сопротивление трения обусловлено вязкостью жидкости, коэффициент $\zeta_{\text{тп}}$ зависит от числа Рейнольдса. Для турбулентного потока $\zeta_{\text{тп}}$ можно подсчитать по формуле Прандтля – Шлихтинга: $\zeta_{\text{тп}} = 0,455 / \lg Re^{2,58}$.

Ниже приводятся средние значения чисел Рейнольдса и коэффициентов сопротивления трения для основных типов промысловых судов:

Тип судна	$Re \cdot 10^{-8}$	$\zeta_{\text{тп}} \cdot 10^3$
Большие сейнеры	0,9 – 1,2	2,16 – 2,09
Базы и консервные заводы	3,7 – 8,9	1,79 – 1,60
Производственные суда	1,4 – 7,5	2,05 – 1,63
Приемно – транспортные суда	1,5 – 8,4	2,03 – 1,61
Большие рыболовные траулеры	13,0 – 5,8	1,83 – 1,68

Корпус судна отличается от пластины кривизной и значительной шероховатостью.

Кривизна корпуса учитывается с помощью коэффициента k , на который умножают коэффициент сопротивления пластины $\zeta_{\text{тп}}$.

Коэффициент k зависит от отношения $\frac{L_{\text{в}}}{B}$. При изменении $\frac{L_{\text{в}}}{B}$ от 0,5 до 10 значения k лежат в пределах 1,08 – 1,02, т.е. коэффициент сопротивления гидродинамически гладкого корпуса $k \zeta_{\text{тп}}$ мало отличается от коэффициента сопротивления пластины $\zeta_{\text{тп}}$.

Влияние шероховатости учитывается увеличением коэффициента сопротивления трения гидродинамически гладкого корпуса $k \zeta_{\text{тп}}$ на величину $\zeta_{\text{ш}}$. В пределах измерения скорости судна величину $\zeta_{\text{ш}}$ можно считать постоянной, характерной для данного вида судна и технологии постройки. Для судов со сварной обшивкой, имеющих средние и малые относительные скорости, $\zeta_{\text{ш}} = (0,3 \div 0,6) \cdot 10^{-3}$. Большие значения $\zeta_{\text{ш}}$ характерны для судов меньших размеров. Примерно 40 – 60% надбавки на шероховатость приходится на дополнительное сопротивление, обусловленное окраской листов наружной обшивки; 20 – 30% - на сопротивление от вырезов и ниш; 10 – 20% - на сопротивление сварных швов. Вследствие шероховатости сопротивление трения возрастает на 20 – 30 %.

С введением коэффициентов k и $\zeta_{\text{ш}}$ формулу для вычисления сопротивления трения судна можно записать в виде

$$R_{\text{т}} = \frac{1}{2} (k \zeta_{\text{тп}} + \zeta_{\text{ш}}) \gamma v^2 S, \quad (9)$$

Где $k \zeta_{\text{тп}} + \zeta_{\text{ш}} = \zeta_{\text{т}}$ - коэффициент сопротивления трения судна.

Смоченную поверхность добывающих судов (БМРТ, траулеров типа РТ, СРТ, МРТ, сейнеров) можно определить по формулам Денни – Мумфорда и Роза с поправками Ю. И. Нечаева

$$S = L_{\text{в}} d (1,45 + 1,12 \delta \frac{B}{d}), \quad (10)$$

$$S = 1,91 \sqrt[3]{V} (\sqrt[3]{V} + 0,4 L_{\text{в}}). \quad (11)$$

В смоченную поверхность, вычисленную по этим формулам, не входят выступающие части. Чтобы учесть их влияние, необходимо

смоченную поверхность увеличить на 4,0 – 10%. Поскольку надбавка на выступающие части растет с уменьшением длины судна, верхний предел относится к сравнительно небольшим судам. Погрешность в определении смоченной поверхности по формулам (10) и (11) не превышает 3%.

Для вычисления смоченной поверхности траулеров можно также воспользоваться формулами Тейлора и Денни – Мумфорда с корректирующими коэффициентами предложенными М. С. Трубом:

$$S=2,55 \sqrt{VL_b} \text{ и } S=1,02 L_b d (1,45 + 1,12\delta \frac{B}{d}).$$

Точность этих формул примерно совпадает с точностью формул (10) и (11).

Неплохие результаты для транспортных судов дают формулы В. А. Себеки и Денни – Мумфорда с коэффициентами С. П. Мурагина:

$$S = L_b d \left[2 + 1,37(\delta - 0,274) \frac{B}{d} \right],$$

$$S = L_b d \left(1,36 + 1,13\delta \frac{B}{d} \right).$$

Формулу В. А. Себеки можно использовать для подсчета смоченной поверхности плавучих баз и приемно – транспортных судов, имеющих большой коэффициент общей полноты.

Соппротивление формы, так же как и сопротивление трения, обусловлено вязкостью жидкости. При обтекании тела вязкой жидкостью пограничный слой как бы стекает с кормовой оконечности тела и создает гидродинамический след. Стеkanie пограничного слоя может быть плавным (рис. 20а) и отрывным (рис. 20б). В последнем случае гидродинамический след занимает довольно широкую область за кормой тела, ограниченную вихревыми дорожками. В этих двух случаях причина образования и величина сопротивления формы различны.

Рассмотрим характер обтекания корпуса судна реальной жидкостью при плавном стекании пограничного слоя. В районе форштевня в точке А скорость обтекания равна нулю, а давление, согласно уравнению Бернулли, достигает максимума (рис. 20в). По мере продвижения жидкости к миделю скорость частиц жидкости возрастает, а давление падает, т.е. энергия давления потока переходит в кинетическую энергию. В идеальной жидкости этот переход совершается без потерь, в реальной – часть энергии теряется на преодоление сил вязкости. При дальнейшем продвижении жидкости к

ахтерштевно скорость частиц падает, давление растет. В идеальной жидкости полностью совершается обратный переход кинетической энергии в энергию давления, в результате чего суммарное давление на кормовую и носовую части будет одинаковым (кривая I на рис.20в). В реальной жидкости из-за потери части энергии потока на преодоление сил вязкости давление в корме оказывается ниже, чем в носу (кривая II на рис. 20в), что и обуславливает появление сопротивления формы. Описанная картина наблюдается у так называемых хорошо обтекаемых тел. При безотрывном стекании пограничного слоя сопротивление формы создается только в результате перепада давления по длине тела.

У плохо обтекаемых тел потери энергии настолько велики, что частицы жидкости вблизи корпуса теряют скорость, не доходя до ахтерштевня (точка D на рис. 20г). Точка D называется точкой отрыва пограничного слоя.

Поскольку частицы жидкости потеряли скорость вблизи корпуса, к нему устремляются более отдаленные слои потока и вовлекают пограничный слой во вращательное движение. За кормой судна идет непрерывное вихреобразование, которое, как бы оттесняя от корпуса пограничный слой, еще больше снижает давление на кормовую часть судна. Таким образом, при отрывном обтекании сопротивление формы создаётся главным образом за счет затраты энергии на образование вихрей.

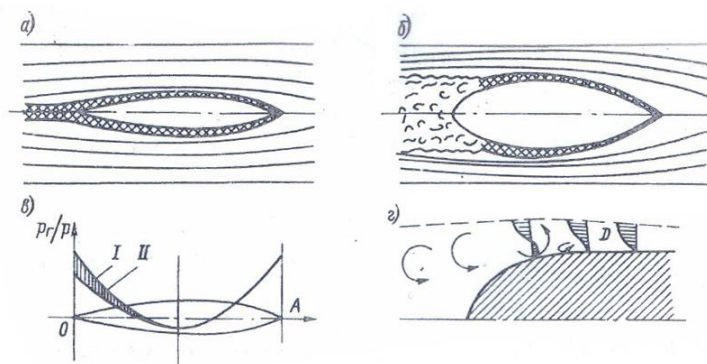


Рис. 20. Сопротивление формы: а – плавное обтекание; б – отрывное обтекание; в – эпюра давления; г – отрыв пограничного слоя.

Сопротивление формы можно посчитать по формуле

$$R_{\phi} = \frac{1}{2} \zeta_{\phi} \gamma v^2 S, \text{ где } \zeta_{\phi} - \text{коэффициент сопротивления формы,}$$

зависящий от Re . У судов с хорошо обтекаемыми обводами сопротивление формы невелико и обычно составляет 15 – 20% полного сопротивления R . Сопротивление формы судов с плохо обтекаемыми обводами может доходить до 50 – 70% R .

Сопротивление формы зависит от положения точки отрыва пограничного слоя: чем раньше наступает отрыв, тем больше сопротивление. Положение точки отрыва зависит от скорости судна, формы корпуса и состояния смоченной поверхности, поэтому при правильном выборе обводов судна можно значительно снизить сопротивление формы. Поскольку точка отрыва пограничного слоя при плавном его стекании всегда располагается на крайней кромке кормы, коэффициент сопротивления формы не зависит от числа Рейнольдса. При отрывном обтекании коэффициент сопротивления формы зависит от числа Рейнольдса. Однако в диапазоне чисел Рейнольдса, характерном для морских судов, точка отрыва пограничного слоя практически не меняет своего положения, т.е. можно считать, что коэффициент сопротивления формы промысловых судов не зависит от числа Рейнольдса.

Коэффициент сопротивления может быть определен по приближенным формулам или экспериментально. Приближенные формулы позволяют провести лишь оценку сопротивления формы, так как они имеют малую степень точности. Экспериментальное определение сопротивления формы производится путем испытания дублированной модели судна (двух одинаковых подводных частей модели, сложенных ватерлиниями) в погруженном состоянии.

Волновое сопротивление. При движении судна на свободной поверхности воды возникают волны, которые являются причиной появления волнового сопротивления. В соответствии с уравнением Бернулли, в носу и корме движущегося судна создаются зоны повышенного давления, в средней части – пониженного (рис 21а, кривая I). Поскольку свободная поверхность воды не препятствует вертикальным перемещениям жидкости, в носу и в корме уровень жидкости повышается, а в средней части – понижается. Однако изменение уровня жидкости не будет в точности соответствовать распределению давления, так как корпус судна встречается при движении с новыми массами воды, которая в следствии ускорения

перемещается на больший уровень, чем это требуется для уравнивания давления. Частицы жидкости, выведенные из положения равновесия, в следствии весомости начинают совершать колебания, т.е. на поверхности создаются корабельные волны, которые распространяются по ходу движения судна.

Наблюдения показывают, что при движении судна на поверхности образуются две группы волн: носовая и кормовая. Носовая группа зарождается несколько позади форштевня, кормовая - несколько впереди ахтерштевня. Каждая группа волн состоит из поперечных и расходящихся волн (рис. 21б). расходящиеся волны представляют собой расположенные в эшелонном порядке ряды коротких волн. Середины гребней расходящихся волн располагается по прямой, составляющей с диаметральной плоскостью угол $\alpha = 18 \div 20^\circ$. Гребни отдельных расходящихся волн образуют с направлением движения судна угол β , который приблизительно равен 2α . Поперечные волны образуют с диаметральной плоскостью угол 90° и располагаются внутри сектора, ограниченного расходящимися волнами правого и левого бортов. Первая поперечная волна носовой группы начинается вершиной, первая волна кормовой группы – впадиной. Гребни по следующим поперечных волн отстоят друг от друга на расстоянии

$$\lambda = \frac{2\pi}{g} V^2. \quad (12)$$

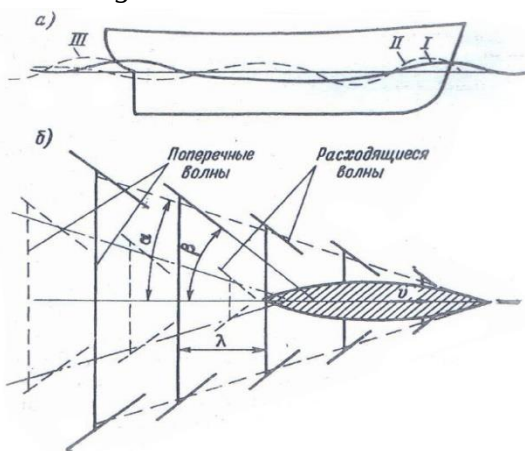


Рис. 21 Волновое сопротивление: а – распределение давления; б – система волн.

И – давление; II – носовая волна; III – кормовая волна.

Поперечные и расходящиеся волны при постоянной скорости судна V остаются неизменными. На поддержание этой установившейся системы волн необходимо затратить определенную энергию, которая представляет собой работу волнового сопротивления. Волновое сопротивление судна определяют экспериментальным и аналитическим методами. Аналитическое определение волнового сопротивления связано с трудоемким и сложными вычислениями, поэтому в практических расчетах волнового сопротивления используют методы подобия и результаты модельных испытаний. Формула для подсчета волнового

сопротивления имеет вид $R_b = \frac{1}{2} \zeta_b \gamma v^2 S$, где ζ_b - коэффициент

волнового сопротивления, зависящий от числа Фруда $Fr = V/\sqrt{gL_b}$.

С изменением скорости судна меняется длина волны. Поэтому может оказаться, что при каком-то соотношении между скоростью и длиной судна гребни носовых волн совпадут с гребнями кормовых волн. В этом случае за кормой наблюдается повышенное волнообразование, и волновое сопротивление судна резко увеличивается. Этому режиму движения соответствуют бугры на кривой волнового сопротивления. При других скоростях происходит частичное гашение носовыми поперечными волнами кормовых волн, что приводит к уменьшению волнового сопротивления.

Благоприятным в отношении волнового сопротивления скоростям соответствуют впадины на кривой волнового сопротивления. Следовательно, каждой длине судна соответствуют определенные зоны благоприятных и неблагоприятных скоростей судна. Благоприятными будут те скорости, при которых в так называемую волнообразующую длину судна L_1 укладывается целое число волн с половиной, т.е. когда

$$\frac{L_1}{\lambda} = \frac{3}{2}, \frac{5}{2}, \frac{7}{2}, \dots \quad (13)$$

В соответствии с эмпирическими данными Кента волнообразующую длину судна можно определить по формуле

$$L_1 = \phi L_s + \frac{3}{4} \lambda \quad (14)$$

Формула для определения благоприятных скоростей с точки

зрения волнового сопротивления $V=2,5 \sqrt{\frac{\phi L_B}{3+4k}}$, в которой $k=0, 1, 2, 3, \dots$.

Если в волнообразующую длину судна укладывается целое число волн: $L_1/\lambda=1, 2, 3, \dots$, то скорости будут неблагоприятными.

Используя, приведенные выше зависимости для подсчета благоприятных скоростей получим выражение $V = 2,5 \sqrt{\frac{\phi L_B}{3+4k}}$, где $k=0, 1, 2, 3, \dots$.

Приведенные соображения играют большую роль при решении вопроса о назначении скорости эксплуатируемых судов. В зоне неблагоприятных скоростей даже небольшое увеличение скорости требует значительного повышения мощности машин. В то же время в зоне благоприятных скоростей можно увеличить скорость судна без существенного изменения мощности.

Сопротивление выступающих частей. Выступающими частями являются ахтерштевни, кронштейны, гребные валы, выкружки гребных валов, рули, скуловые и брусковые кили. Судовые движители к выступающим частям не относятся: их сопротивление учитывают при определении к.п.д. движителя. Сопротивление выступающих частей небольших судов может достигать 25% сопротивления голого корпуса. Сопротивление выступающих частей можно определить экспериментальным или теоретическим путем.

В первом случае по формулам гидромеханики подсчитывают сопротивление отдельных выступающих частей и, сложив их, находят значение $R_{вч}$.

В сопротивлении коротких выступающих частей основную роль играет сопротивление формы, в частях большой протяженности – сопротивление трения. Сопротивление выступающих частей можно так же определить по формуле $R_{вч} = \frac{1}{2} \zeta_{вч} \gamma V^2 S$, где $\zeta_{вч}$ - коэффициент сопротивления выступающих частей, который меняется в довольно широких пределах.

В среднем для одновинтовых судов $\zeta_{вч}=(0,05 \div 0,15) \cdot 10^{-3}$ (верхний предел относится к сравнительно небольшим добывающим судам). Экспериментально сопротивление выступающих частей

определяют в опытовых бассейнах или аэродинамических трубах. В бассейнах производится испытание моделей судна с голым корпусом и выступающими частями. В аэродинамических трубах производится продувка изолированных выступающих частей или их моделей. При приближенных расчетах ходкости полагают, что суммарное сопротивление выступающих частей добывающих и приемно-транспортных судов составляет соответственно 4 – 10 и 2 – 5% сопротивления голого корпуса. Следует отметить, что с увеличением размеров и скорости судна надбавка на выступающие части уменьшается.

Сопротивление воздуха движению судна. При обтекании потоком воздуха надводной части судна возникает аэродинамическая сила R_a . Проекция этой силы на направление движения судна представляет сопротивление воздуха движению судна (воздушное сопротивление) $R_{\text{возд}}$, которое определяется по формуле

$$R_{\text{возд}} = \frac{1}{2} \zeta_{\text{возд}} \rho_v V_k^2 S_{\otimes}, \quad \text{где } \zeta_{\text{возд}} - \text{коэффициент воздушного}$$

сопротивления; $\rho_v = 1,25 \text{ кг/м}^3$ – массовая плотность воздуха; $S_{\otimes}$ – площадь проекции надводной части судна на плоскость мидель-шпангоута, м^2 ; V_k – скорость обтекания воздухом надводной части судна, м/с .

Коэффициент воздушного сопротивления, определяемый по результатам продувки моделей судов в аэродинамических трубах, зависит от угла атаки α . При α , близких к нулю, надстройки и рубки экранируют друг друга, в результате чего воздушное сопротивление может несколько уменьшиться. При $\alpha = 20 \div 40^\circ$ надстройки и рубки оказываются невыгодно расположенными, поэтому воздушное сопротивление возрастает. Коэффициент воздушного сопротивления при углах атаки более 90° принимает отрицательное значение, т.е. $R_{\text{возд}}$ совпадает с направлением движения судна. Однако вследствие неблагоприятного влияния морского волнения даже при попутном ветре скорость судна снижается. Воздушное сопротивление $\zeta_{\text{возд}}$ рассчитывается для встречного потока воздуха, в среднем $\zeta_{\text{возд}}$ промысловых судов составляет 0,7 – 1,2. Скорость обтекания воздухом надводной части судна при встречном ветре определяют по формуле $V_k = V + V_v$, где V – скорость судна; V_v – скорость ветра, определяемая

по шкале Бофорта. В сравнительно тихую погоду воздушное сопротивление составляет 1,5 – 3,0% полного. При встречном ветре в 4 – 5 баллов оно может достигнуть 10 – 15%, а при сильном шторме – 30 – 40%.

Расчет буксировочного сопротивления и эффективной мощности главного двигателя

Расчет производится для случая нагрузки судна «на отход». Буксировочное сопротивление судна R_{σ} рассматривается как сумма трех составляющих: сопротивления трения R_T , вихревого сопротивления (сопротивления формы) R_{ϕ} и волнового сопротивления R_{ϵ} :

$$R_{\sigma} = R_T + R_{\phi} + R_{\epsilon}$$

Сопротивление трения и вихревое сопротивление обусловлены вязкостью жидкости, волновое сопротивление – весомостью жидкости. В практических расчетах используют гипотезу Фруда, согласно которой буксировочное сопротивление находится как сумма сопротивления трения R_T , зависящего от числа Рейнольдса и остаточного сопротивления $R_{ост}$, зависящего от числа Фруда. Число

Рейнольдса $Re = \frac{VL}{\nu}$ выражает вязкость жидкости, а число Фруда

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} - \text{силу тяжести.}$$

В приведенных выражениях V , L – скорость и длина судна; ν – коэффициент кинематической вязкости для морской воды при 4 °C $\nu = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; g – ускорение свободного падения.

Величина сопротивления трения рассчитывается по эмпирическим формулам, а остаточное сопротивление определяется с использованием кривых, полученных на основе систематических испытаний моделей судов.

Для расчета буксировочного сопротивления используется выражение

$$R_{\sigma} = 0,5 \zeta_{\sigma} \gamma V^2 \Omega,$$

Где ζ_{σ} - коэффициент буксировочного сопротивления; γ - плотность забортной воды; V – скорость судна, м/с; Ω -площадь смоченной

поверхности корпуса судна.

Площадь смоченной поверхности можно определить по формуле

$$\Omega = \sqrt[3]{\nabla} \cdot (3,4\sqrt[3]{\nabla} = 0,5L).$$

Коэффициент буксировочного сопротивления определяется как сумма коэффициента сопротивления трения $\zeta_{\text{тр}}$ и коэффициента остаточного сопротивления $\zeta_{\text{ост}}$

$$\zeta_v = \zeta_{\text{тр}} + \zeta_{\text{ост}}.$$

Коэффициент сопротивления трения рассчитывается как сумма коэффициента трения эквивалентной (по площади смоченной поверхности) технически гладкой пластины ζ_f и надбавок на шероховатость $\zeta_{\text{ш}}$ и выступающие части $\zeta_{\text{в.ч.}}$

$$\zeta_{\text{тр}} = \zeta_f + \zeta_{\text{ш}} + \zeta_{\text{в.ч.}}$$
$$\zeta_f = \frac{0,075}{(\lg \text{Re} - 2)^2}$$

$\zeta_{\text{ш}} = 0,4 \cdot 10^{-3}$ - надбавка на шероховатость судов длиной до 150 м;
 $\zeta_{\text{в.ч.}} = 0,1 \cdot 10^{-3}$ - надбавка на выступающие части одновинтового судна длиной 130...200 м. Величина коэффициент остаточного сопротивления $\zeta_{\text{ост}}$ определяется по диаграмме, приведенной в Приложении Р. Эффективная мощность главного двигателя N_e определяется выражением

$$N_e = \frac{R_o V}{\eta},$$

Где η - пропульсивный коэффициент (в работе принимается $\eta = 0,6$).

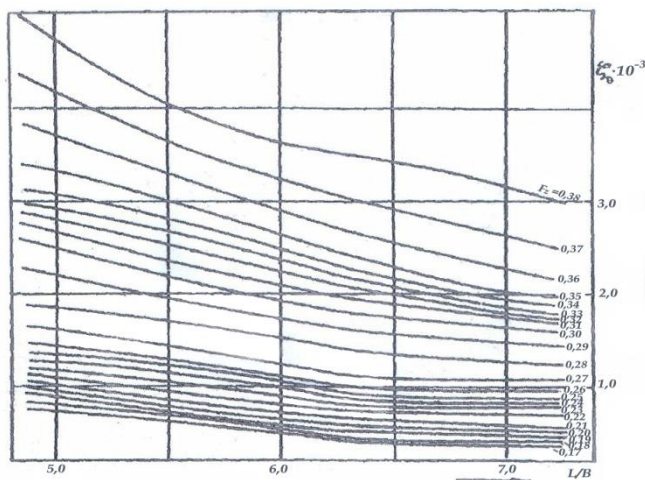
Расчеты выполняются в табличной форме (см. табл. 1). По результатам расчетов строятся графики зависимости буксировочного сопротивления и эффективной мощности от скорости судна.

Таблица 1

№ п/п	Наименование расчетных величин	Обозначение и формула	Размерность	Числовые значения расчетных величин			
1	Скорость судна	V_s	уз				
2	Скорость судна	$V = 0,515 V_s$	м/с				
3	Число Рейнольдса	$Re = \frac{VL}{\nu}$	-				
4	Число Фруда	$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$	-				
5	Коэффициент трения пластины	$\zeta_f = \frac{0,075}{(\lg Re - 2)^2}$	-				
6	Коэффициент остаточного сопротивления	$\zeta_{ост}$	-				
7	Коэффициент буксировочного сопротивления	$\zeta_0 = \zeta_f + \zeta_m + \zeta_{в.ч.} + \zeta_{ост}$	-				
8	Буксировочное сопротивление	$R_0 = 0,5 \zeta_0 \rho V^2 \Omega$	кН				
9	Эффективная мощность	$N_e = \frac{R_0 V}{\eta}$	кВт				

Приложение Р

Коэффициент остаточного сопротивления



Библиографический список

1. Бойко В.В. Теория и устройство судна:уч. пос. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2018. 211 с.
2. Бойко В.В. Методические указания по выполнению практических работ студентов и курсантов по специальности 26.05.07 «Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики» всех форм обучения. Владивосток: Дальрыбвтуз, 2023. 58 с.
3. Самсонов С.В. Остойчивость судна учебное пособие, Владивосток, 2021 г.65с.
4. Правила классификации и постройки морских судов. Морской Регистр Судоходства РФ, 2024 г.
5. Друзь Б.И. и др. Задачник по теории, устройству судов и движителям. Л.: Судостроение, 1986 г. 240с.
6. Азовцев А. И., Огай А. С., Огай С. А., Петрашев С. В., Бокий А. Н. / Теория и устройство судна. Учебно-методическое пособие для выполнения лабораторных работ.2025г.
7. Кулагин В.Д. Теория и устройство промысловых судов. Л.: Судостроение, 1986 г. 392с.
8. Баранов Н.В. Конструкция корпуса морских судов. Л.: Судостроение, 1981. 696с.
9. Кацман Ф.М., Дорогостайский Д.В. Теория судна и движители. Л.: Судостроение, 1979 г. 280с.
10. Бронский А.И. Корпусные конструкции судов промыслового флота. Л.: Судостроение, 1978 г. 200с.
11. Горячев А.М., Подругин Е.М. Устройство и основы теории морских судов. Л.: Судостроение, 1971 г. 325с.