

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

С. Д. Чижиумов

ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ СУДОВ

Утверждено в качестве учебного пособия
Ученым советом Государственного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Комсомольск-на-Амуре 2007

УДК 629.12.011
ББК 39.42-044 я7
Ч 594

Рецензенты:

Кафедра «Конструкции судов» Дальневосточного
государственного технического университета,
зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор *А. П. Аносов*;
В. М. Козин, д-р техн. наук, главный научный сотрудник
Института машиноведения и металлургии
Дальневосточного отделения Российской академии наук
(ИМиМ ДВО РАН)

Чижиумов, С. Д.

Ч 594 Примеры конструкций судов : Учеб. пособие / С. Д. Чижиумов. –
Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2007. – 133 с.
ISBN 978-5-7765-0516-4

В пособии даны основные термины и понятия, связанные с архитектурно-конструктивными особенностями судов и системами набора их корпуса. Приведены иллюстрированные примеры архитектуры и конструкций судов различных типов. Рассмотрены морские и речные водоизмещающие суда (танкеры, навалочники, контейнеровозы, ролкеры, пассажирские и другие суда), а также высокоскоростные суда (на подводных крыльях, на воздушной подушке, глиссеры, многокорпусные и др.).

Кратко сформулированы основные принципы, лежащие в основе конструкций узлов корпуса судна.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 180100 «Кораблестроение и океанотехника» при изучении дисциплин «Конструкция корпуса судов» и «Конструкция судов разных типов».

ББК 39.42-044 я7

© Государственное образовательное
учреждение высшего профессионального
образования «Комсомольский-на-Амуре
государственный технический
университет», 2007

ISBN 978-5-7765-0516-4

ВВЕДЕНИЕ

Знания конструкций корпуса судна и принципов, которым они подчиняются, являются одними из самых основных для инженера-кораблестроителя. Основная цель данного пособия – дать общее представление об архитектуре и конструкциях судов. Для того чтобы не запутаться в этом многообразии, рассмотрены вопросы классификации судов и систематизации их конструкций.

Излагаемый в пособии материал с одной стороны является описательным и несложным. Однако почти каждая конструкция, приведенная в иллюстрациях, является чрезвычайно сложной технической системой, при разработке которой решалось множество связанных и противоречивых проблем. Поэтому рассматривать каждую конструкцию можно на разных уровнях – от усвоения основных понятий (система набора, названия элементов) до глубокого научно-технического исследования.

Цель изучения конструкций судов состоит не только в запоминании чертежей конструкций и особенностей архитектуры различных судов. Это важно, но такие знания накапливаются постепенно, в процессе накопления опыта. Главная цель заключается в понимании основных принципов, которым конструкции подчиняются. Овладев этими принципами можно грамотно *творить* собственные проекты, а также понимать смысл и правильно применять большое множество требований и формул, которое содержится в правилах классификационных обществ.

На самом деле в пособии рассмотрены далеко не все типы судов и объектов океанотехники. Остались за пределами рассмотрения корабли военно-морского флота (в том числе подводные корабли), глубоководные аппараты, научно-исследовательские суда, плавучие буровые установки, суда технического флота, различные маломерные суда. И это не удивительно, так как многообразие плавучих технических систем безгранично. Даже рассмотренные в пособии типы судов представлены очень кратко, обзорно. Большой интерес представляет анализ повреждений конструкций и крушений судов, который позволяет более полно понять современные конструкции и тенденции развития судов. Сведения по этим темам можно найти в специализированной литературе.

1. ОСНОВНЫЕ НАЗВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСА СУДНА

Приведём основные термины, связанные с конструкцией корпуса судна, которые должен знать инженер-кораблестроитель.

- Ахтерпик – крайний кормовой отсек судна (рис. 1.1).
- Ахтерштевень – открытая или замкнутая рама в кормовой оконечности, являющаяся продолжением киля. Через ахтерштевень проходят баллер руля и гребной вал.
- Бак – носовая надстройка. Высокий бак защищает носовую палубу от заливаемости при ходе на волнении, улучшает всхожесть судна на волну.
- Балка набора корпуса судна – жесткий элемент набора корпуса судна, предназначенный для восприятия продольных и поперечных нагрузок.
- Бимс – поперечная балка палубы (рис. 1.2, 1.3). На бимсах лежит настил.
- Бортовой стрингер – продольная рамная балка борта (рис. 1.4).
- Бракета – листовая деталь прямоугольной или более сложной формы, предназначенная для соединения набора корпуса судна и присоединения его к обшивке или настилу (рис. 1.3).
- Bracketный флор – флор двойного дна с поперечной системой набора, состоящий из бракет, соединённых поперечными рёбрами жёсткости. Это разновидность так называемого открытого флора – более лёгкого по сравнению со сплошным флором. Bracketные флоры ставятся между сплошными. Они обеспечивают меньшую массу перекрытия, большую технологичность и ремонтпригодность.
- Брештук – треугольный или трапециевидный горизонтальный лист, соединяющий форштевень или ахтерштевень с бортовым набором, палубой и наружной обшивкой корпуса судна.
- Бульб – каплевидное обтекаемое утолщение корпуса в носовой подводной оконечности судна, снижающее волновое сопротивление при движении на тихой воде.
- Вертикальный киль – рамная балка днища, проходящая в диаметральной плоскости (ДП) (рис. 1.4).
- Верхняя палуба судна – непрерывная по всей длине самая верхняя палуба корпуса судна.
- Выкружка наружной обшивки корпуса судна – изогнутый лист наружной обшивки корпуса судна в районе выхода гребного вала.
- Горизонтальный киль – средний утолщённый пояс обшивки днища судна.
- Днищевой стрингер – продольная рамная балка днища (рис. 1.4).
- Заделка корпуса судна – листовая деталь, предназначенная для заделки вырезов в конструкциях корпуса судна, через которые проходит набор судна.

- Карлингс – продольная рамная балка палубы (рис. 1.2, 1.3).
- Квартердек – возвышающаяся уступом на неполномерную высоту междупалубного расстояния кормовая часть верхней палубы судна.
- Кильсон судна – днищевой стрингер, – обычно термин «кильсон» используется для корпусов судов внутреннего плавания или судов с одинарным днищем – в этом случае кильсон представляет собой сварной тавр.
- Кница - треугольная деталь, подкрепляющая концы балок.
- Козырек судна – конструкция, являющаяся продолжением наружной обшивки судна над уровнем открытой верхней палубы или палубы бака в носовой оконечности для уменьшения заливания палубы водой.
- Комингс – ограждение люка или полоса, окаймляющая вырез (рис. 1.5).
- Кормовой подзор судна – наклонная часть кормовой оконечности корпуса судна, выступающая за ахтерштевень.
- Крайний междудонный лист – наклонный лист настила второго дна, примыкающий к скуловому листу (рис. 1.6).
- Кринолин – выступающий участок палубы в корме судна; конструкция за линией наружной обшивки корпуса судна для предохранения от повреждения винтов, рулей, подводных крыльев и других выступающих частей.
- Кронштейн гребного вала судна – конструкция снаружи судна для создания опоры гребным валам, состоящая из ступицы, через которую проходит вал, и одной или двух лап, крепящихся к корпусу судна.
- Кронштейн руля судна – конструкция в корме судна, предназначенная для опоры руля.
- Лацпорт – закрывающиеся ворота в корпусе судна – для погрузки-выгрузки накатных грузов и колёсной техники.
- Ледовая наделка судна – отливка или конструкция из листов с набором, устанавливаемая за рулем судна для защиты его от льда.
- Ледовый пояс – утолщенный пояс обшивки борта в районе ватерлинии.
- Леерное ограждение - лёгкое ограждение палубы у борта.
- Набор корпуса судна – каркас из продольных или поперечных металлических балок и ребер, который придает корпусным конструкциям судна заданную форму и вместе с обшивкой к настилам обеспечивает им необходимую жесткость и прочность.
- Накладной лист судна – лист, подкрепляющий другой лист, образующий какую-либо корпусную конструкцию судна и устанавливаемый на него всей своей плоскостью.
- Настил корпуса судна – соединённые вместе листы, вместе с горизонтальными балками формирующие палубы, платформы и второе дно.

- Обшивка судна – оболочка из металлических листов, вместе с набором формирующая днище, борта корпуса и внутренние переборки.
- Паз – соединение листов обшивки по продольным кромкам (рис. 1.7).
- Палуба переборок судна - самая верхняя палуба судна, до которой доведены поперечные непроницаемые переборки, делящие корпус судна на отсеки.
- Палубный стрингер – крайний пояс настила верхней палубы у борта.
- Пандус судна – пологая наклонная плоскость между палубами судна для проезда безрельсового транспорта.
- Переборка – вертикальное внутреннее перекрытие корпуса судна.
- Перекрытие судна – участок обшивки или настила корпуса судна, подкрепленный набором корпуса и ограниченный опорным контуром, на который опирается набор.
- Пиллерс – колонна, стойка, поддерживающая палубу.
- Пилон судна – обтекаемая пространственная конструкция, являющаяся опорой для двигателей, редукторов, винтов и других механизмов судов на воздушной подушке.
- Планширь – полоса, идущая по верху фальшборта.
- Пластина – часть обшивки, ограниченная с четырех сторон балками набора.
- Платформа судна – палуба судна, расположенная ниже верхней палубы и простирающаяся лишь на часть длины судна.
- Подпалубная цистерна – цистерна под палубой навалочного судна.
- Полубимс – бимс, проходящий не по всей ширине судна, а от борта до карлингса или до выреза в палубе.
- Потеряй – район обшивки, где два пояса переходят в один (рис. 1.7).
- Пояс наружной обшивки судна – ряд листов наружной обшивки судна в продольном направлении, имеющих общие пазы.
- Привальный брус судна – конструкция, устанавливаемая снаружи вдоль борта судна, для предохранения бортового перекрытия от повреждения при швартовке.
- Разносящий стрингер судна – стрингер судна уменьшенной высоты и небольшой протяженности, служащий для распределения локальных нагрузок, приложенных к корпусу судна.
- Распорка корпуса судна – балка набора корпуса судна составного или катаного профиля, устанавливаемая преимущественно горизонтально, препятствующая сближению каких-либо частей корпуса судна.
- Ребро жесткости корпуса судна – ребро в виде профильного элемента, подкрепляющее лист обшивки, настила или балку набора корпуса судна составного профиля и обеспечивающее местную жесткость.

- Скуловая цистерна – цистерна навалочного судна в районе скулы, обычно треугольной формы.
- Скуловой пояс – пояс, соединяющий обшивки днища и борта.
- Слип судна – конструкция в кормовой оконечности судна, образованная наклонным участком палубы и ограничивающими вертикальными продольными переборками, для подъема из воды на палубу судна орудий для лова рыбы и небольших судов.
- Спонсон – выступающий за линию борта участок верхней палубы судна с подкрепляющими его конструкциями.
- Стационарная направляющая насадка судна – кольцеобразная наделка на корпусе судна, в которой помещается гребной винт.
- Стойка – вертикальная балка переборки (рис. 1.2).
- Стрингер судна – усиленная продольная балка набора корпуса судна бортового или днищевое перекрытия.
- Стык – соединение листов обшивки по поперечным кромкам (рис. 1.7).
- Съёмный лист судна – лист с подкрепляющим набором или без него, который закрывает вырез в корпусе судна и крепится к нему при помощи разъёмного соединения.
- Съёмный настил судна – настил из съёмных сплошных плоских, рифлёных или перфорированных листов, устанавливаемых поверх обрешетника корпуса судна, подкрепляемых при необходимости набором.
- Твиндек – пространство между палубами.
- Тоннельный киль – конструкция в ДП судна в виде тоннеля в двойном дне, ограниченного по сторонам днищевыми стрингерами.
- Транец – плоский срез кормы судна.
- Трюм – грузовое пространство между нижней палубой и днищем.
- Фальшборт – жёсткое ограждение палубы у борта (рис. 1.5).
- Флор – поперечная рамная связь днища (рис. 1.8, 1.4, 1.3).
- Форпик – крайний носовой отсек судна (рис. 1.1).
- Форштевень – брус, образующий переднюю оконечность судна (продолжение киля в носовой части).
- Холостая балка – балка основного набора у судов внутреннего плавания.
- Цепная труба судна – непроницаемая труба в корпусе судна, соединяющая палубу судна с цепным ящиком, через которую проходит якорный канат.
- Шельф – рамная горизонтальная балка переборки.
- Ширстрек – верхний пояс бортовой обшивки, примыкающий к верхней непрерывной палубе судна. Является одной из основных продольных связей и делается толще остальных поясов обшивки борта с целью увеличения общей прочности корпуса судна.

- Шпангоут – поперечная балка борта (рис. 1.3, 1.4).
- Шпангоутная рама судна – рама, расположенная по периметру в поперечном сечении корпуса судна и состоящая из последовательно соединенных друг с другом балок поперечного набора днища, шпангоутов, бимсов.
- Шпунтовый пояс – пояс обшивки, примыкающий к брусковому килю.
- Ют – кормовая надстройка.
- Якорная труба судна – непроницаемая труба в корпусе судна, соединяющая палубу судна с бортовым перекрытием, через которую пропускается якорный канат и в которую втягивается веретено якоря.

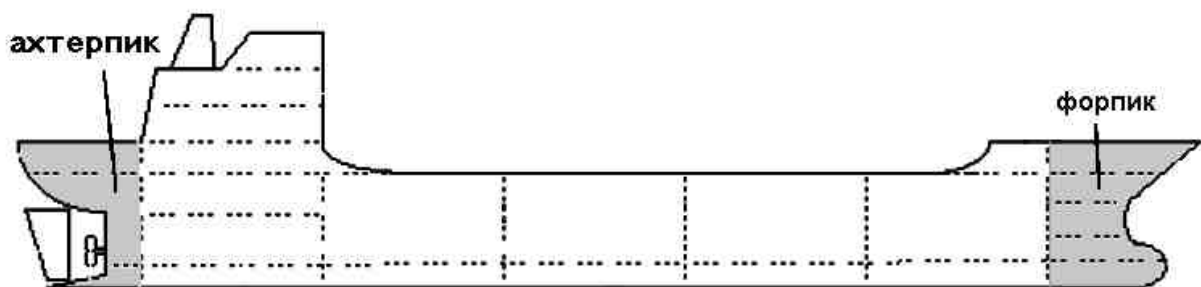


Рис. 1.1. Деление корпуса судна на отсеки

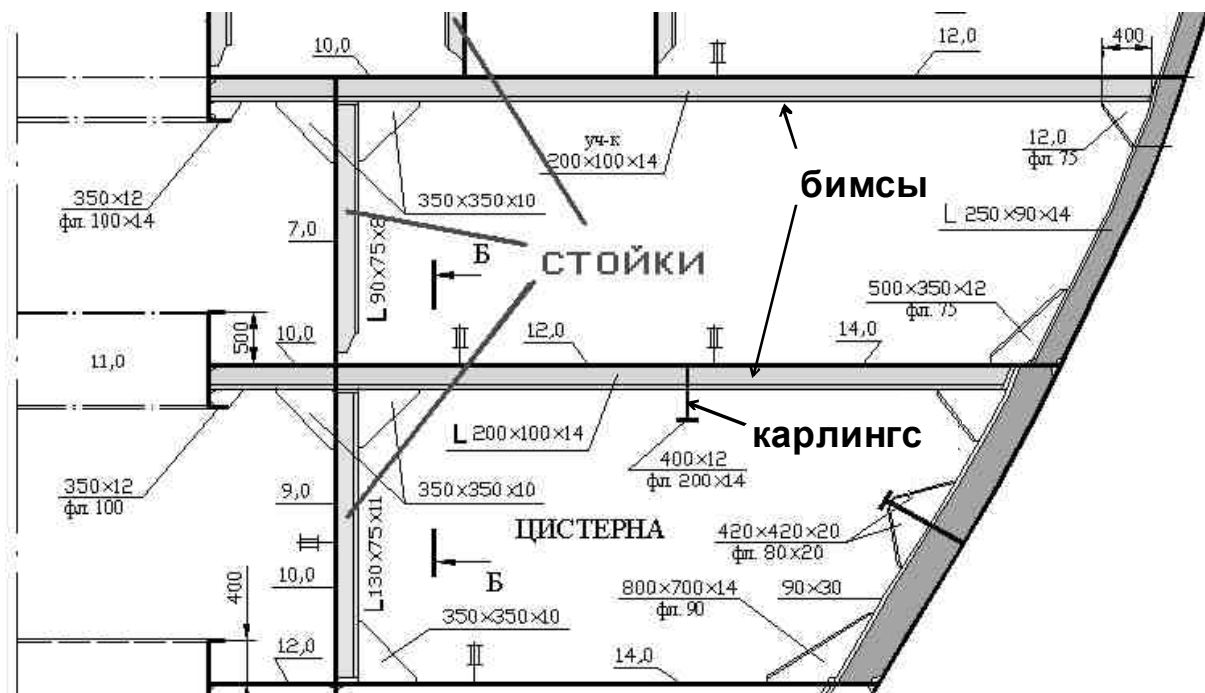


Рис. 1.2. Поперечный разрез по нижним палубам и борту

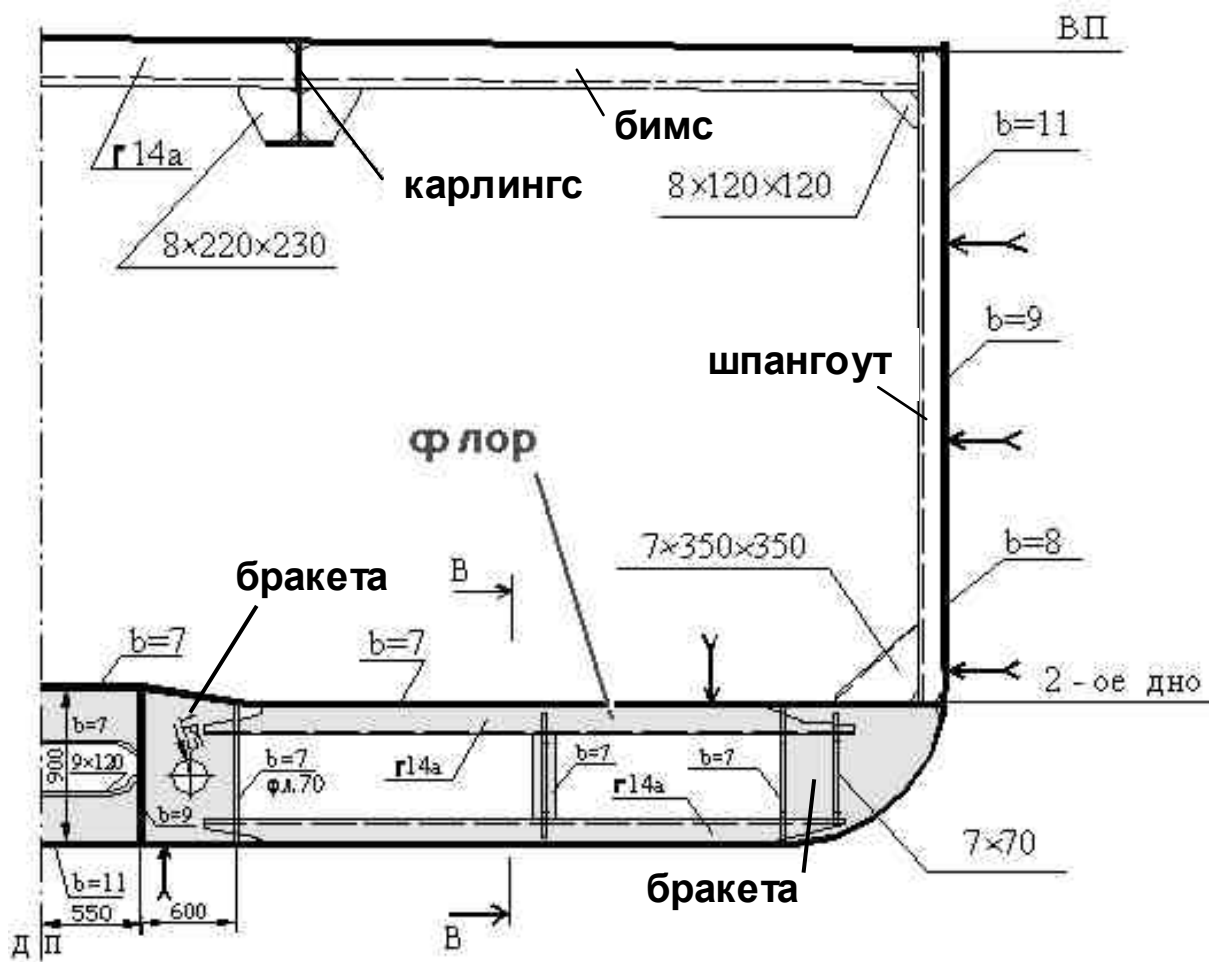


Рис. 1.3. Мидель-шпангоут небольшого судна

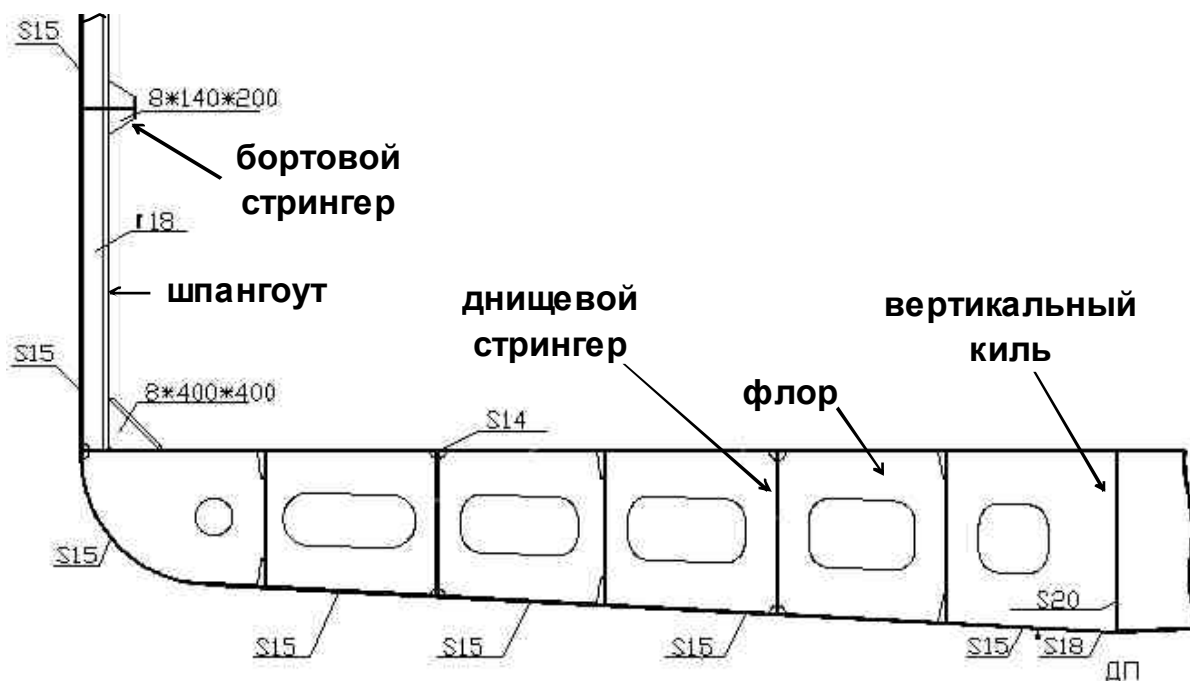


Рис. 1.4. Поперечный разрез двойного дна



Рис. 1.5. Разрез палубы



Рис. 1.6. Скула судна

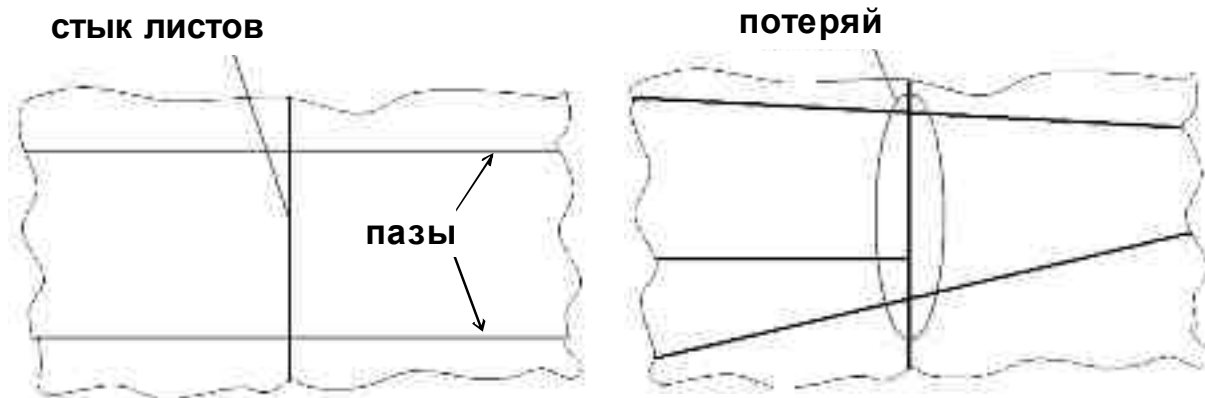


Рис. 1.7. Стыки и пазы листов обшивки корпуса судна



Рис. 1.8. Поперечный разрез днища малого судна

2. СИСТЕМЫ НАБОРА КОРПУСА СУДНА

Корпус судна представляет собой оболочку, подкреплённую системой балок – набором. Оболочка состоит из листов наружной обшивки (днища и бортов), внутренней обшивки (переборок) и настилов (палуб, второго дна). Пересекаясь и примыкая друг к другу, они образуют четырёхугольные части корпуса – перекрытия.

Балки набора разных направлений, приваренные к обшивке или настилу, пересекаются под прямыми углами, ограничивая отдельные пластины (не путать с листами!). Пластины могут быть квадратной формы или ориентированы длинной стороной вдоль или поперек судна, вертикально или горизонтально. В зависимости от их ориентации определяют систему набора отдельных перекрытий и корпуса в целом (рис. 2.1). Если длинные стороны пластин располагаются поперек судна – система набора называется поперечной (рис. 2.2, 2.3, 2.4), если вдоль – продольной (рис. 2.5). Если пластины имеют форму, близкую к квадрату, то система набора называется клетчатой (рис. 2.6).

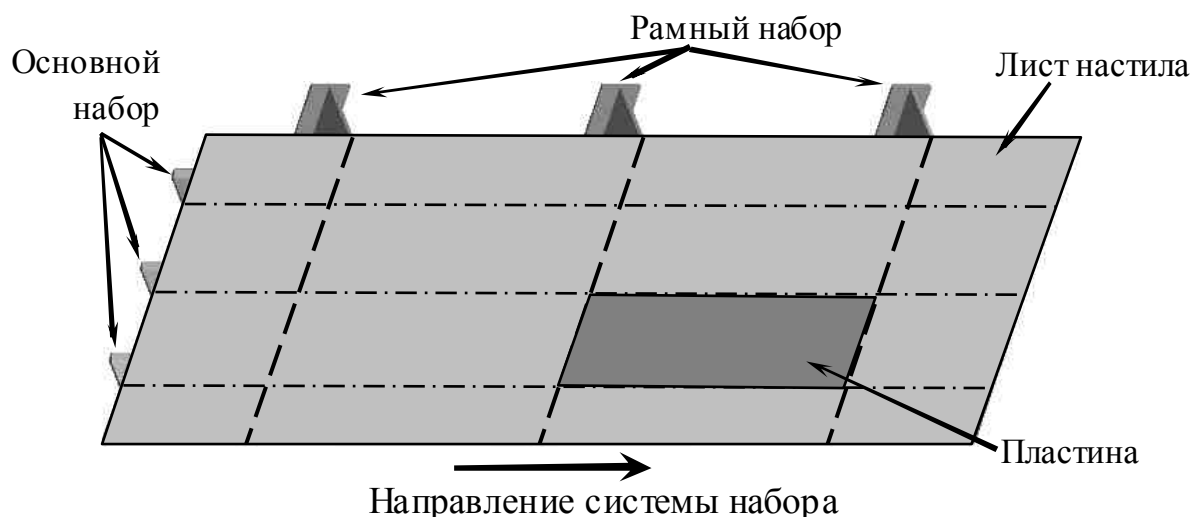


Рис. 2.1. Пластины и система набора

Кроме этих основных систем набора перекрытий существует еще комбинированная система набора, когда в отдельных частях одного перекрытия имеются разные системы набора (рис. 2.7, 2.8).

Система набора корпуса судна в целом определяется системами набора перекрытий днища, бортов и палуб на большей части корпуса (кроме оконечностей). Если эти перекрытия имеют разные системы набора, то система набора судна в целом называется смешанной. В наиболее распространённом варианте смешанной системы набора корпуса судна борт имеет поперечную систему набора, а верхняя палуба и днище – продольную (рис. 2.9, 2.10).

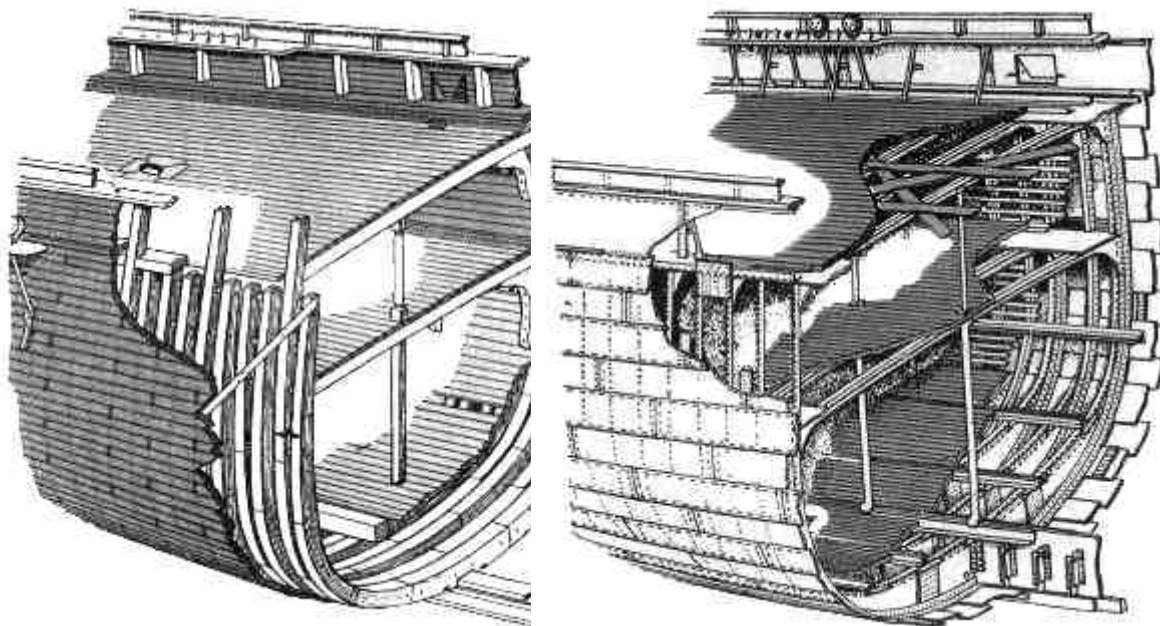


Рис. 2.2. Поперечная система набора деревянного и клёпаного железного корпусов судов XIX века

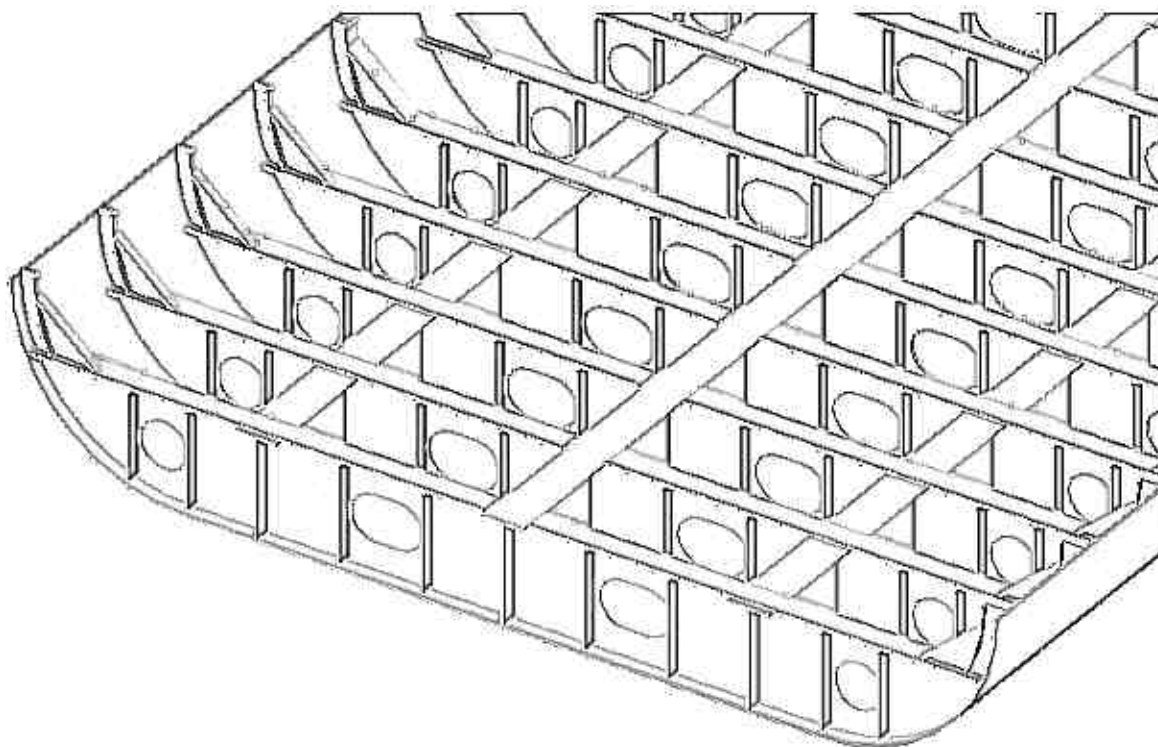


Рис. 2.3. Поперечная система набора одинарного днища

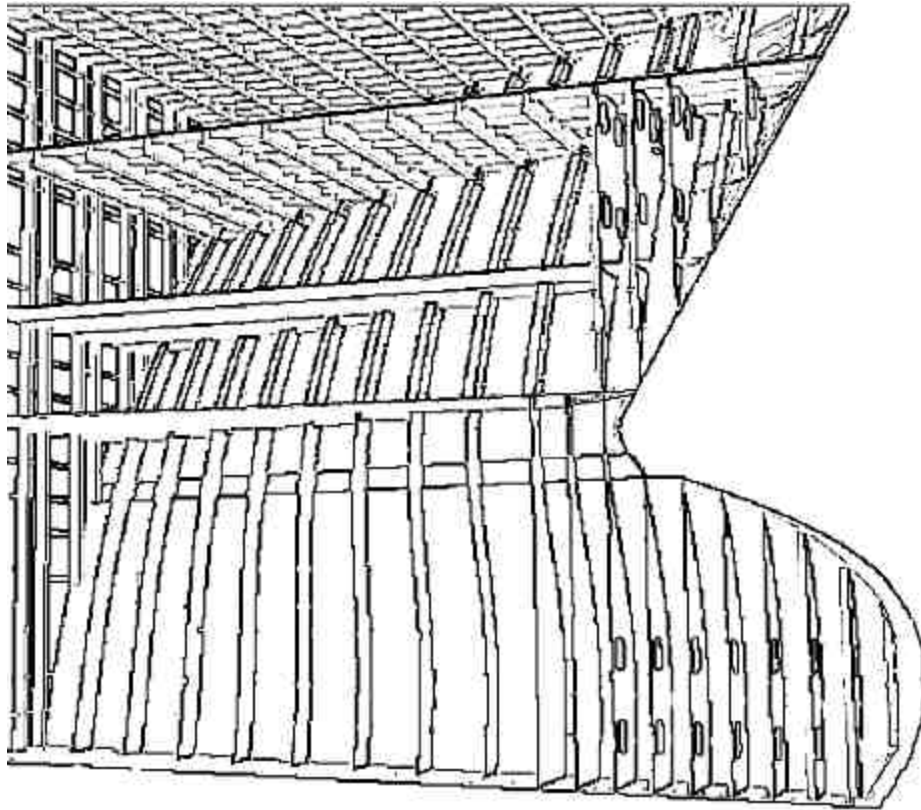


Рис. 2.4. Поперечная система набора борта в носовой оконечности судна

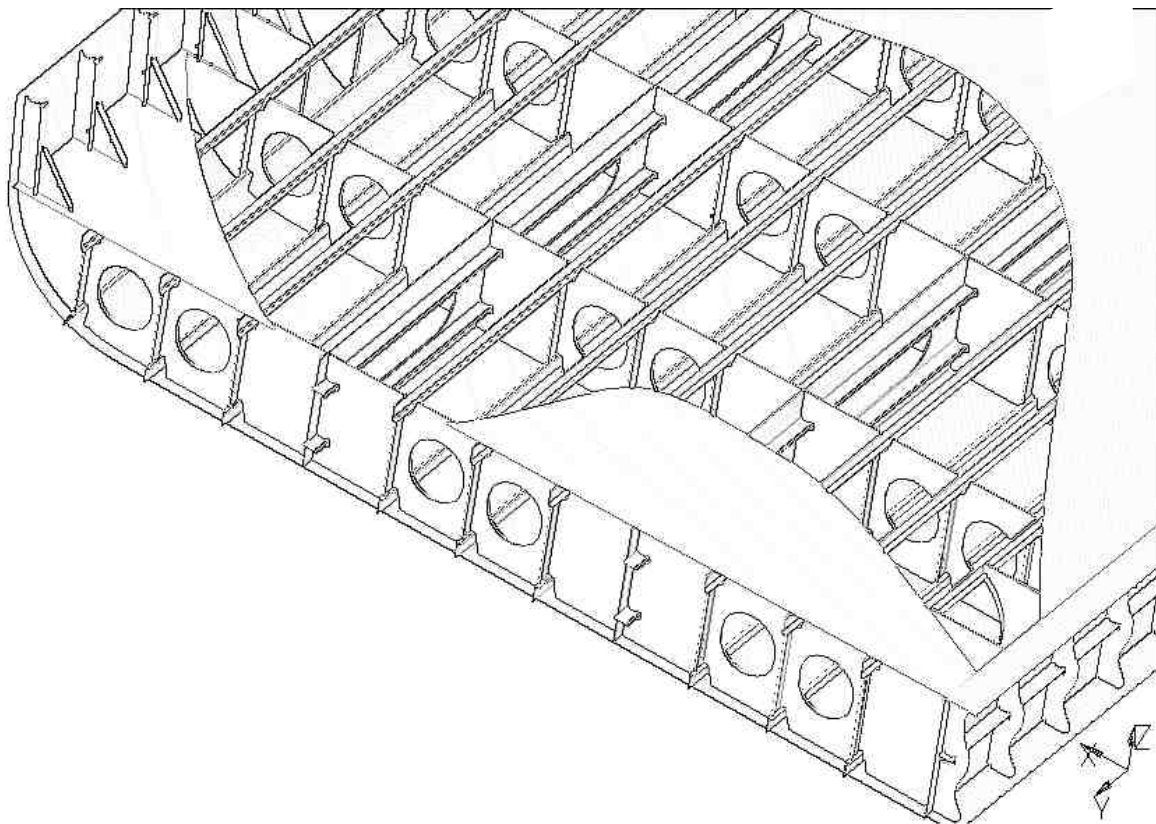


Рис. 2.5. Двойное дно с продольной системой набора

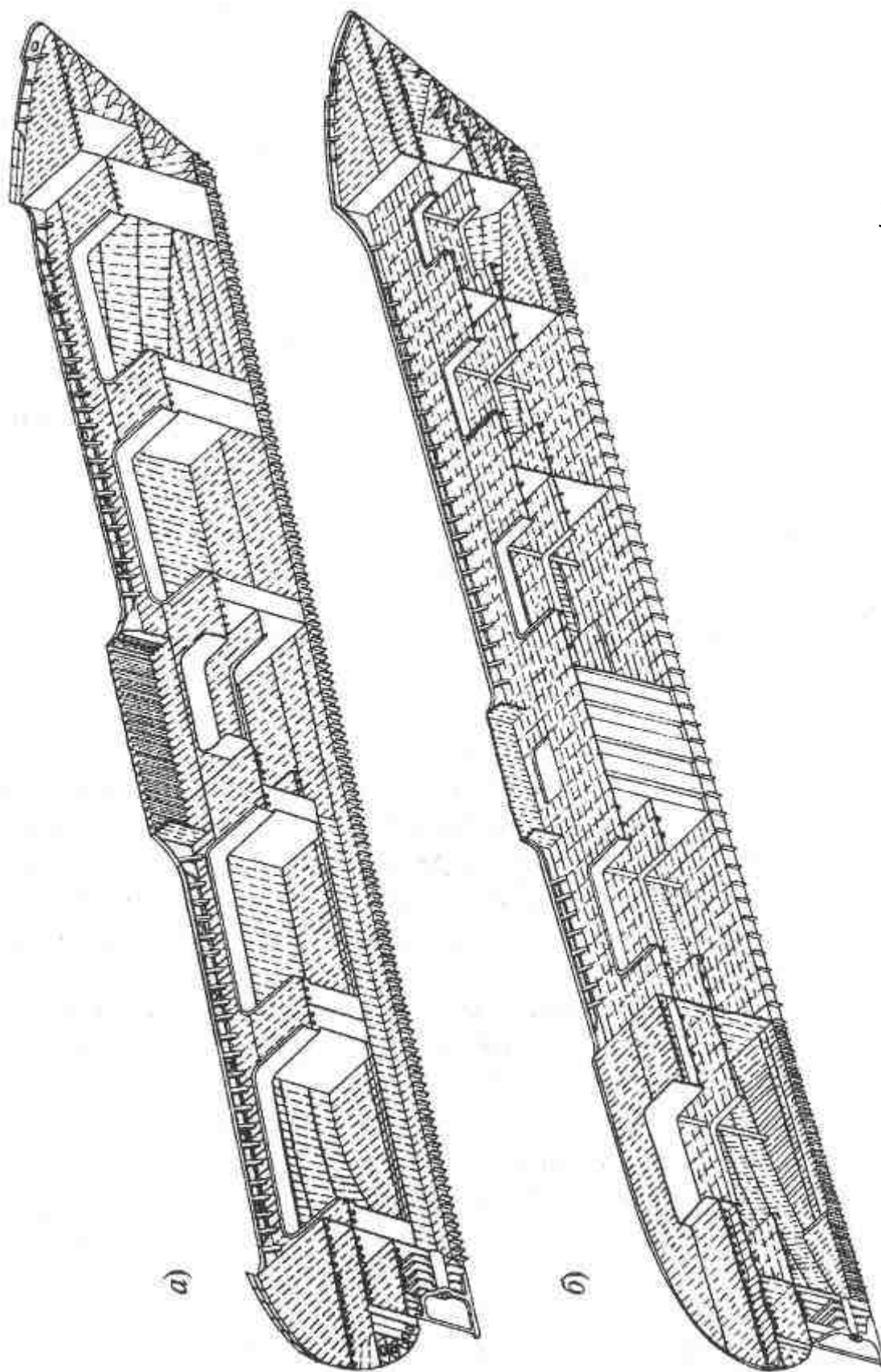


Рис. 2.15. Конструкция корпуса сухогрузного судна /Л/;
а - с поперечной системой набора, б - с продольной системой набора

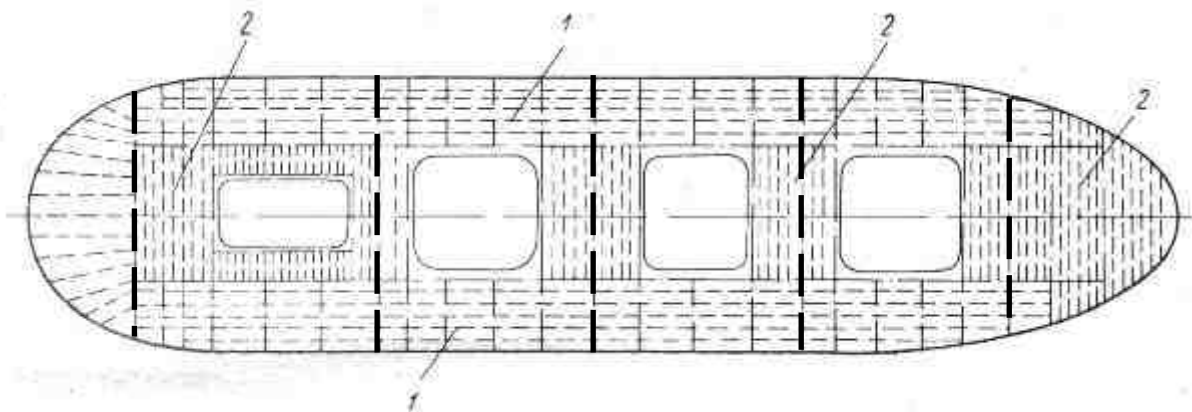


Рис. 2.7. Схема палубных перекрытий по комбинированной системе набора:

1 – продольная система набора; 2 – поперечная система набора

При выборе системы набора перекрытия в первую очередь рассматривают два основных вопроса: 1) в какой степени перекрытие воспринимает поперечное давление; 2) в какой степени и каким образом перекрытие работает при общем изгибе корпуса судна.

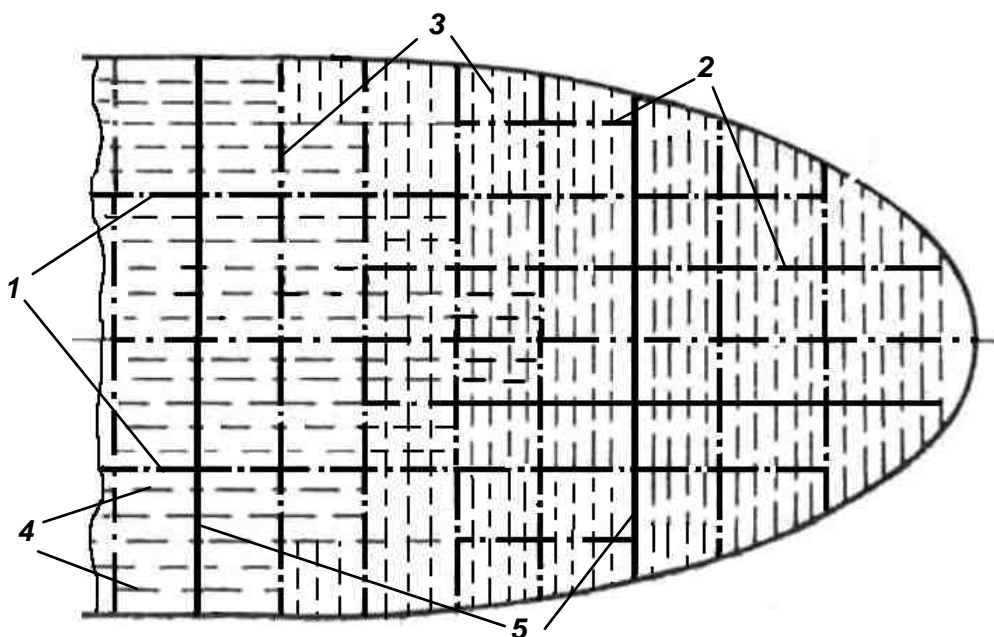


Рис. 2.8. Комбинированная система набора днищевого перекрытия:

1 – стрингеры; 2 – дополнительные стрингеры; 3 – флоры;
4 – продольные балки; 5 – переборки

Суда длиной менее 80 м имеют относительно небольшие напряжения от общего изгиба корпуса и обычно их связи испытывают преимущественно изгиб от местных усилий по нормали к плоскости перекрытия.

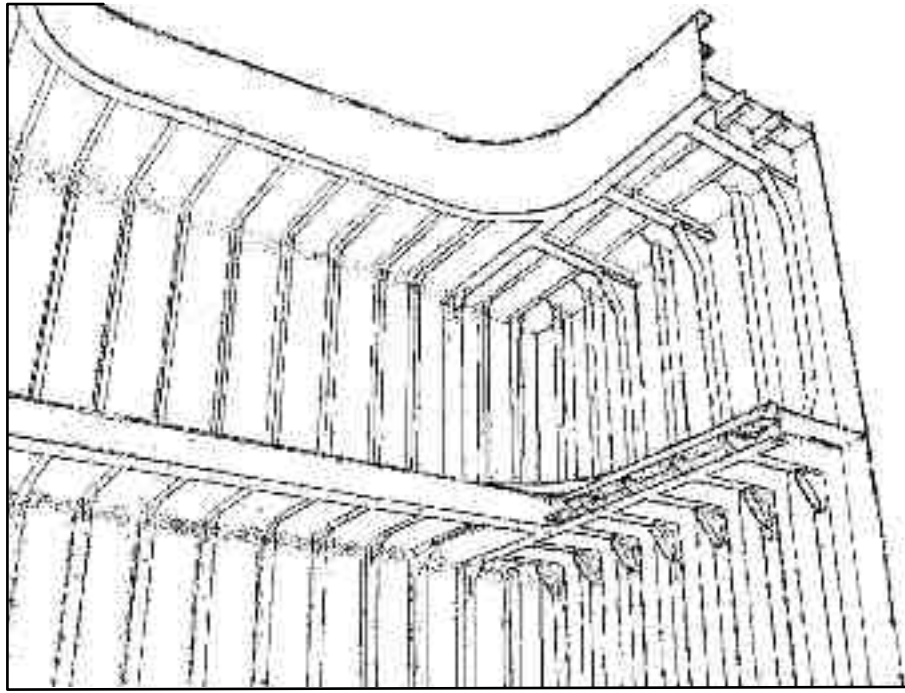


Рис. 2.9. Борт с поперечной системой набора и переборка со стойками

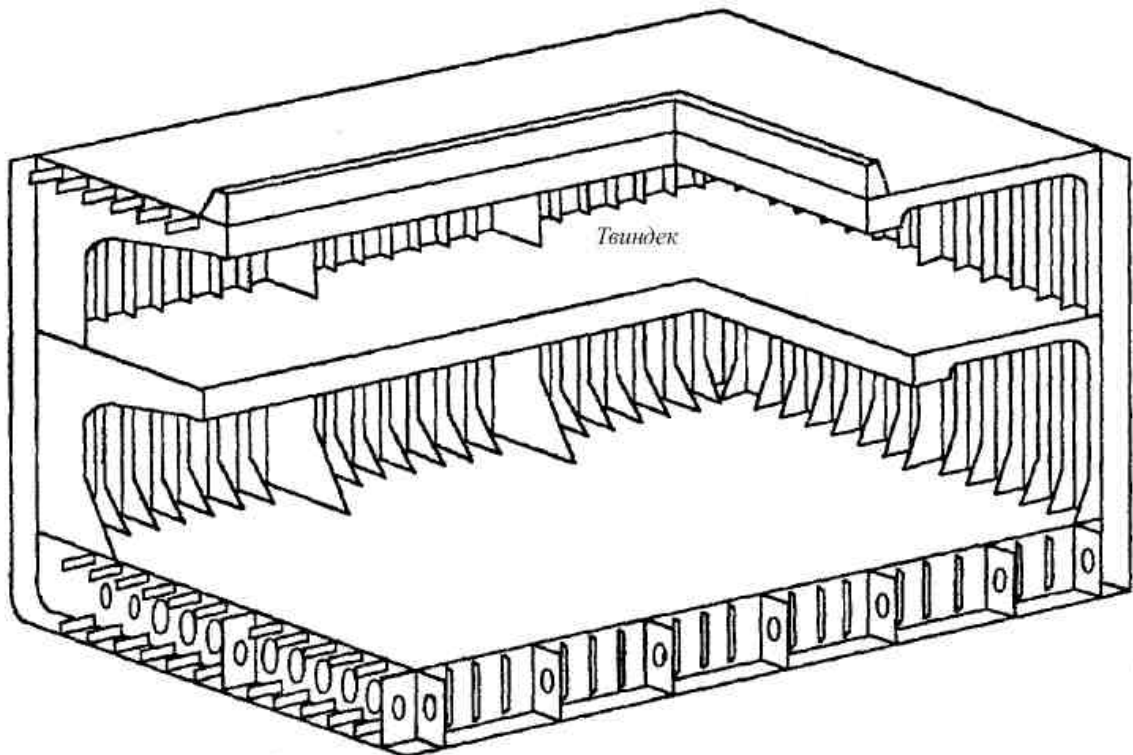


Рис. 2.10. Схема конструкции отсека двухпалубного сухогруза со смешанной системой набора корпуса

В этом случае ориентация балок набора зависит от соотношения сторон перекрытия. И. Г. Бубнову, основоположнику строительной механики корабля, приписывают такое образное выражение: «Как мост строят не вдоль, а поперек реки, так и при выборе системы набора балки надо располагать поперёк перекрытия – по кратчайшему расстоянию». При этом обеспечивается наименьшая масса перекрытия. Так как обычно перекрытия корпуса вытянуты по длине, то и система набора напрашивается поперечная. Она более выгодна и с технологической точки зрения.

Достоинством поперечной системы набора является также возможность при работе шпангоутов использовать *арочный эффект*. При криволинейных обводах шпангоуты под действием поперечных нагрузок обладают большей прочностью, чем при плоских. Особенно это сказывается в оконечностях, где напряжения от общего изгиба небольшие, а шпангоуты опираются на ряд горизонтальных платформ. Поэтому здесь предпочтение отдается поперечной системе набора даже на судах длиной значительно больше 100 м. Кроме этого, прочность носовой оконечности на динамические нагрузки от ударов о волны и лёд проще обеспечивается при поперечной системе набора. До конца XIX века морские корабли и суда строили только по поперечной системе набора (см. рис. 2.2).

Примеры конструкций перекрытий с поперечной системой набора приведены на рис. 2.3 – 2.4, 2.9, 2.11 – 2.13.

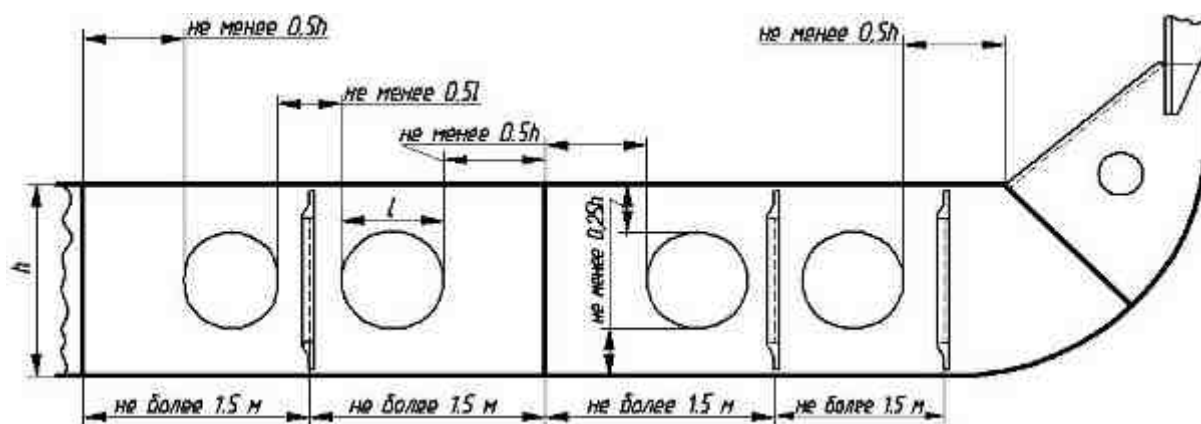


Рис. 2.11. Сплошной флор днища с поперечной системой набора

Недостатки поперечной системы набора начали сказываться с появлением быстроходных и крупнотоннажных металлических судов и кораблей, конструкция которых вначале была подобна конструкции деревянных судов, что приводило к различным повреждениям корпуса. Научно обосновал необходимость перехода от поперечной системы набора корпуса к продольной и смешанной системам И. Г. Бубнов в 1904 г.

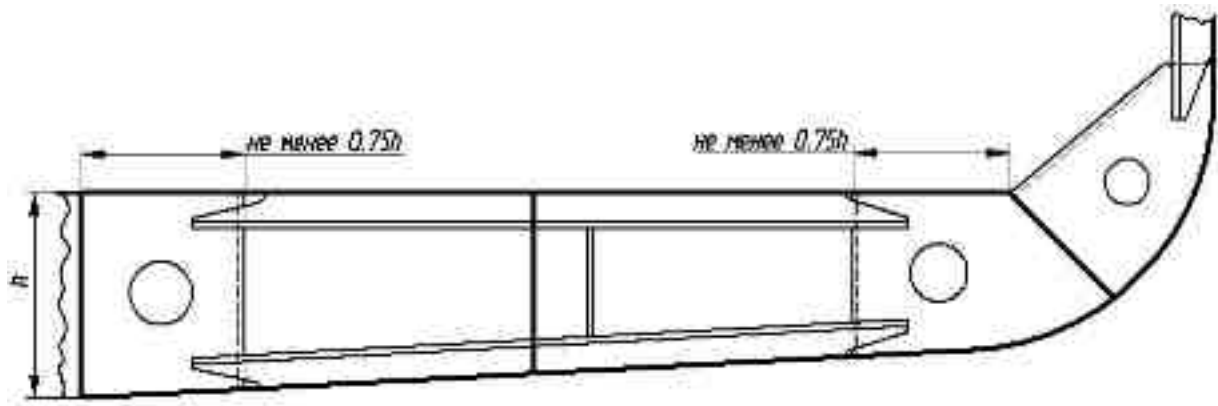


Рис. 2.12. Бракетный флор днища с поперечной системой набора

С увеличением длины судна растут напряжения от общего продольного изгиба корпуса, особенно на удалении от нейтральной оси: в верхней палубе и в днище. Они опасны в первую очередь тем, что могут привести к потере устойчивости сжатых, наиболее гибких элементов – настила палубы или обшивки днища. Балки набора повышают их устойчивость, причём выбор ориентации балок (вдоль сжимающей нагрузки или поперёк) имеет большое значение. А именно, напряжение, при котором теряет устойчивость прямоугольная пластина, подкреплённая с четырёх сторон балками, примерно в четыре раза выше, если сжатие происходит вдоль пластины в отличие от сжатия поперёк.

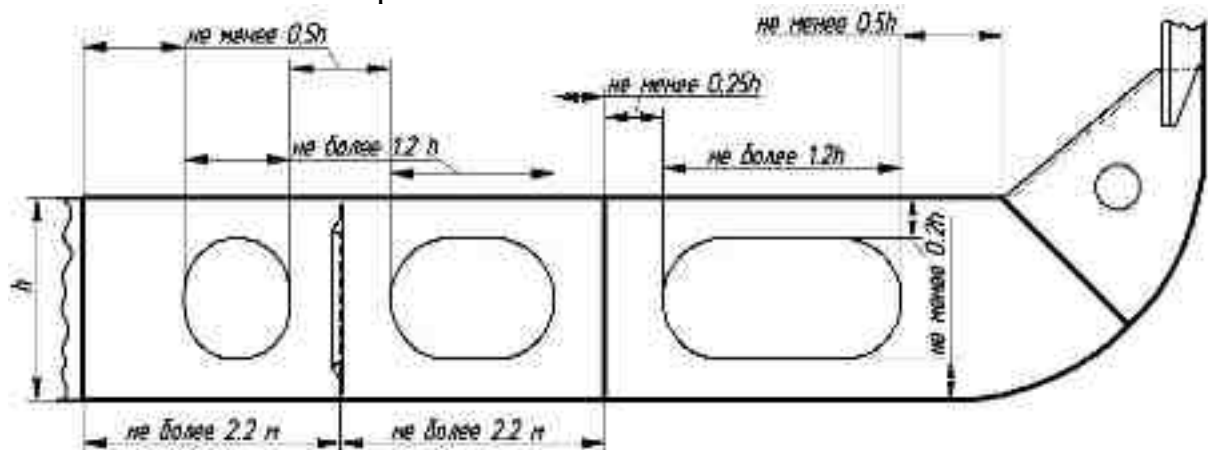


Рис. 2.13. Облегченный флор днища с поперечной системой набора

Для судов длиной более 100 – 120 м применение поперечной системы набора для днища, а тем более для верхней палубы нежелательно, ввиду сложности обеспечения их устойчивости при общем изгибе судна. Продольная же система набора этих перекрытий позволяет легко обеспечить их устойчивость при сжимающих напряжениях вплоть до предела текучести материала.

Особенно отчётливо преимущества системы набора Бубнова проявились при внедрении в судостроение сварки, при появлении и развитии скоростных судов из лёгких сплавов. Система набора с продольными балками набора позднее с успехом была распространена на конструкции самолётов и других летательных аппаратов.

При продольной системе набора продольные ребра опираются на высокие поперечные балки (флоры, рамные бимсы), через отверстия в которых они проходят. Эти балки устанавливаются значительно реже, чем при поперечной системе, тем не менее, они уменьшают объём внутренних помещений на судне. Поэтому на сухогрузных судах по бортам продольную систему обычно не используют, а высокие поперечные рамы в двойном дне и под палубой размещению грузов не мешают (см. рис. 2.10).

Бортовые перекрытия характерны тем, что несут большую поперечную нагрузку, особенно на судах ледового плавания и судах, часто швартующихся в море в условиях волнения (промысловые, спасательные, буксиры). Нагрузки же от общего продольного изгиба на них влияют в меньшей степени, чем на палубу и днище, ввиду их близости к нейтральной оси эквивалентного бруса корпуса. Поэтому продольная система набора бортов встречается редко – в основном на крупнотоннажных судах.

Тем не менее, на судах открытого типа, где палуба ослаблена широкими вырезами, в верхней части борта наблюдаются большие напряжения от общего продольного изгиба. В этом случае часто применяется комбинированная система набора борта, когда в верхней части добавляются продольные балки.

Участки верхней палубы между люками большинства грузовых судов слабо нагружены продольными усилиями от общего изгиба корпуса, поэтому они могут иметь поперечную систему набора. Тогда система набора палубных перекрытий также считается комбинированной (см. рис. 2.7).

Комбинированная система набора характерна также для перекрытий днища и палубы в районах перехода от средней части судна к оконечностям, так как продольные балки не должны обрываться сразу по всей ширине корпуса во избежание значительных концентраций напряжений (см. рис. 2.8).

Разновидностью продольной системы является *стрингерная система набора* (ее еще называют русской), предложенная в начале XX века И. Г. Бубновым. В такой конструкции продольные балки заменяются стрингерами (рис. 2.14, 2.15). В результате узлы пересечения связей становятся более простыми, надёжными и технологичными.

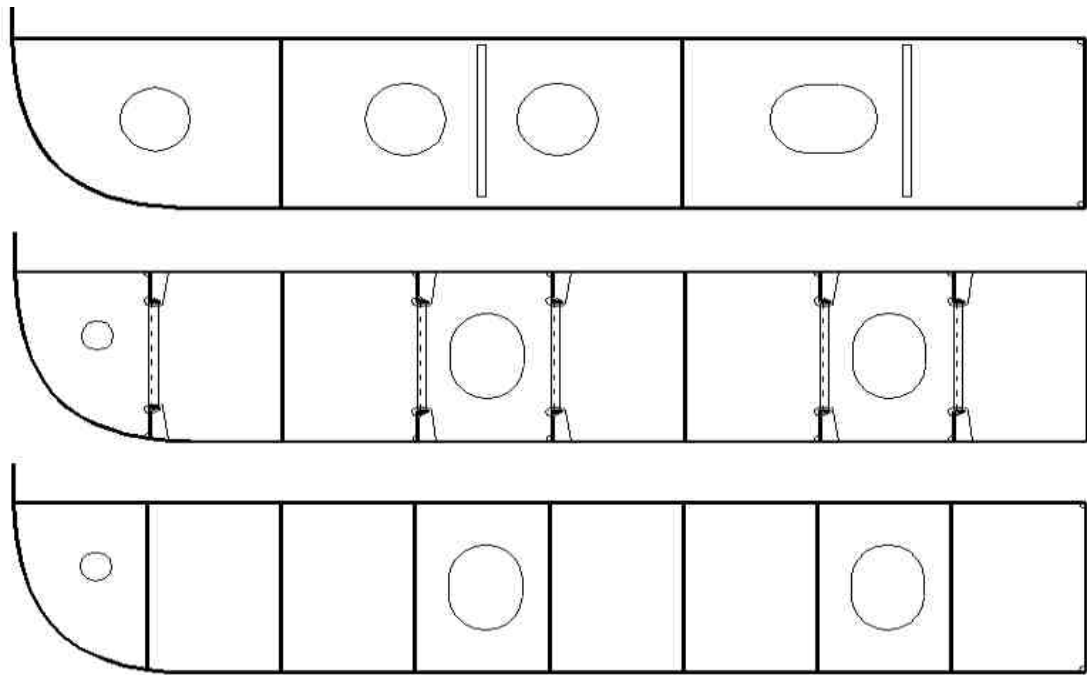


Рис. 2.14. Флоры двойного дна при различных системах набора:
 а – поперечной; б – продольной; в – продольной стрингерной

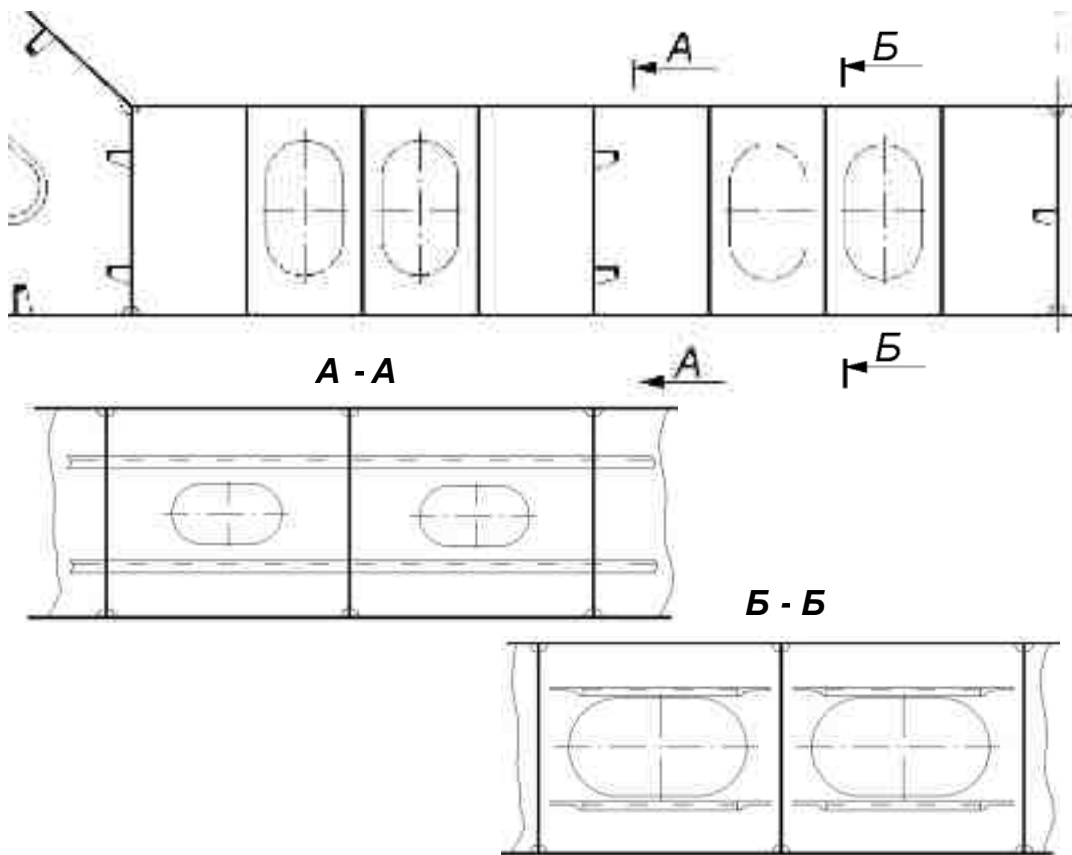


Рис. 2.15. Стрингерная система набора днища

Клетчатая система набора обычно используется для создания повышенной местной прочности при ударных нагрузках. Такие нагрузки действуют при ударах носовой оконечности о воду, ударах волн в развал борта, а также при движении судна во льдах и при ударах грейферами о днище во время грузовых операций. Такая система обеспечивает повышенную жёсткость и меньшие амплитуды местной вибрации, что объясняет её частое применение в конструкциях машинного отделения и кормовых надстроек (рис. 2.16).

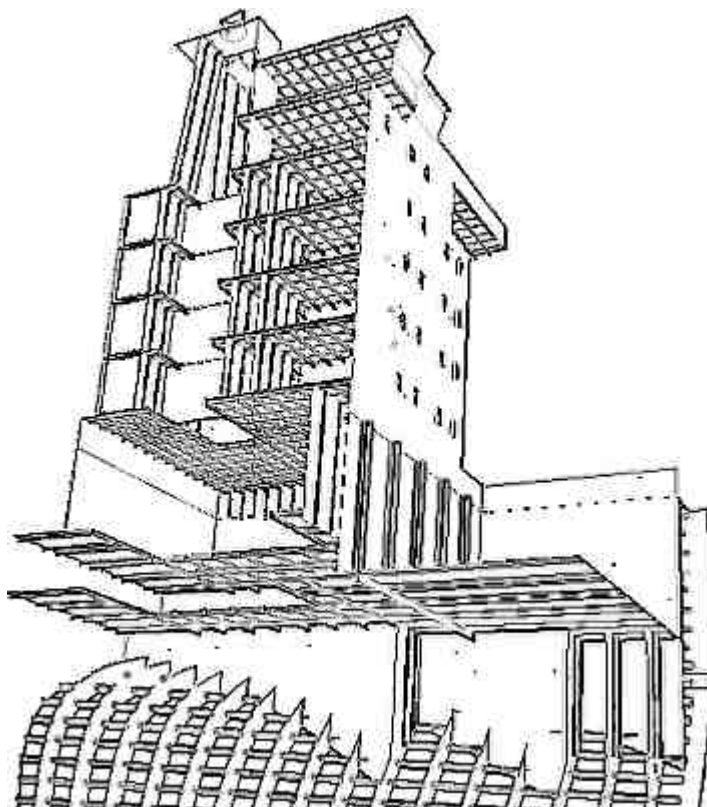


Рис. 2.16. Набор кормовой надстройки

3. КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВ

Суда классифицируются по различным принципам и признакам в зависимости от аспекта их рассмотрения: по районам плавания; в соответствии с правилами классификационных обществ; по принципам поддержания и движения; по типу главной энергетической установки; по архитектурно-конструктивным признакам; по назначению и др. Разделение судов по различным принципам в той или иной степени влияет на их конструкцию.

По **районам плавания** суда классифицируют на морские, внутреннего плавания (речные) и смешанного плавания. Постройка, освидетельствование и эксплуатация судов в нашей стране осуществляется под надзором классификационных обществ: морские суда поднадзорны Морскому Регистру Судоходства РФ; суда внутреннего и смешанного плавания – Российскому Речному Регистру.

Морским Регистром Судоходства РФ каждому судну присваивается **класс**, который определяется формулой, состоящей из нескольких символов, например,

КМ ☙ ЛУЗ ☐ I A3 буксир

где символы означают [15]:

КМ – самоходное судно (К – несамоходное);

☙ – судно построено по Правилам Морского Регистра Судоходства РФ и освидетельствовано этой организацией;

ЛУЗ – знак ледовых усилений судна (цифра от 1 до 9 означает степень приспособленности судна для плавания во льдах: суда категорий ЛУ1 – ЛУ3 относятся к судам неарктического плавания, остальные категории – для арктических судов);

② – знак деления на отсеки (показывает число смежных отсеков (от 1 до 3), при затоплении которых судно остаётся на плаву);

I – знак ограничения района плавания (для судна неограниченного района плавания этот символ отсутствует, для других судов ограничения могут обозначаться символами I, II, ПСП, ШСП, III – эти символы определяют допустимые высоту волн и удаление от мест убежища);

A3 – знак автоматизации управления судном (на центральном посту и в машинном отделении);

буксир – обозначение типа судна по его эксплуатационным и конструктивным особенностям.

По **принципам поддержания** на воде можно выделить следующие группы судов: водоизмещающие (надводные и подводные) и суда с динамическими принципами поддержания (СДПП). Водоизмещающие суда уравниваются относительно поверхности воды гидростатическими силами, а СДПП поднимаются над водой за счёт сил давления воздуха (суда на воздушной подушке, экранопланы), гидродинамического давления на подводные крылья или поверхность днища судна. Конструкции судов водоизмещающих и СДПП различаются настолько, что, например, первые суда на подводных крыльях были созданы авиаторами, а первые суда на воздушной подушке в Англии первоначально строились под надзором авиационных ведомств.

Энергетическая установка (ЭУ) также определяет различные классы судов: несамоходные (обычно называемые баржами) и самоходные. Самоходные суда могут быть оборудованы паровыми машинами (пароходы), двигателями внутреннего сгорания (теплоходы), электродвигателями (электроходы), ядерными реакторами (атомоходы). Многие суда имеют комбинированные ЭУ: турбоэлектроходы имеют паровую или газовую турбину и редуктор в виде генератора тока и гребного электродвигателя с пониженной частотой вращения; дизель-электроходы сочетают дизель с приводом на гребной электродвигатель.

От наличия ЭУ, количества двигателей и расположения машинного отделения (МО) по длине корпуса судна зависят такие особенности архитектуры и конструкции судна, как расположение многоярусной надстройки, длина отсеков и положение переборок, наличие тоннеля гребного вала, конструкции фундаментов и перекрытий машинного отделения, форма кормы и характер обводов всего корпуса, объём дифферентных цистерн и

многое другое. От положения МО по длине судна зависит расположение грузов и изгибающий момент, вызывающий изгиб корпуса, а в конечном итоге – система набора корпуса и размеры продольных связей.

Ядерный реактор атомных судов требует специальной конструктивной защиты (двойные борта и переборки и пр.). Некоторые суда требуют особого согласования ЭУ и конструкций, например, катамараны (два двигателя нужно разместить в корпусах малой ширины), накатные суда (высота двигателей ограничена высотой МО, выше которого размещаются грузовые помещения и проезды к кормовой аппарели).

Принцип движения судов определяется движителями. Здесь можно выделить суда: парусные, гребные, колёсные, винтовые, а также оборудованные водомётами, воздушными винтами или воздушно-реактивными движителями. Тип движителя в первую очередь определяется принципами поддержания и двигателями, поэтому на корпус судна влияет весь комплекс средства поддержания судна – ЭУ – движители. На водоизмещающих судах от типа движителя обычно сильно зависит форма и конструкция кормовой оконечности.

Архитектурно-конструктивный тип судна характеризуется совокупностью признаков /4/:

- формой и количеством корпусов;
- количеством, размерами и расположением надстроек;
- высотой надводного борта;
- количеством палуб;
- типом и размерами грузовых отверстий;
- разделением переборками на отсеки или цистерны;
- системой набора отдельных перекрытий;
- конструкцией отдельных перекрытий;
- особенностями конструкции судна.

Форма корпуса судна определяется множеством особенностей, среди которых отметим некоторые:

➤ форма носа (ледокольная, с бульбом или без него, наклон форштевня, характер обводов: V-образный у быстроходных судов с развалом борта в носу; U-образный у тихоходных судов с почти вертикальными бортами и плоским днищем в носу; различные промежуточные формы);

➤ форма кормы (крейсерская, транцевая, со слипом, с кринолином, с форштевнями различных типов в зависимости от типа винторулевого комплекса);

➤ форма средней части (наличие цилиндрической вставки, развал бортов, килеватость днища, наличие продольных или поперечных сломов или реданов, спонсонов, скуловых килей, скегов и пр.).

Существуют суда с двумя или тремя корпусами, соединёнными в верхней части мостами или платформами (катамараны и тримараны).

Надстройкой называется конструкция, образованная продолжением бортовых перекрытий основного корпуса судна, палубой и поперечными переборками, находящаяся выше верхней палубы»¹. К надстройкам относят и конструкцию, боковые стенки которой не являются продолжением бортов, а несколько отстоят от них (но не более чем на 4 % от ширины корпуса).

Суда, совсем не имеющие надстроек, называются гладкопалубными; с двумя надстройками (баком и обычно многоярусным ютом) – двухостровными; с тремя надстройками (баком, высокой средней надстройкой и ютом) – трехостровными. Как бак, так и ют могут быть удлиненными². Встречаются суда, на которых многоярусная надстройка занимает почти всю длину палубы (например, пассажирские суда, паромы).

На грузовых судах высокая многоярусная надстройка с центральным постом управления (рулевой рубкой) обычно располагается над МО. На некоторых судах, например, для перевозки крупногабаритных грузов, высокая надстройка располагается в носовой части, обеспечивая хороший обзор из рулевой рубки.

Высота надводного борта судна характеризует запас его плавучести, остойчивость, степень заливаемости палубы. Минимальный надводный борт регламентируется международной конвенцией о грузовой марке и разработанными на ее основе правилами классификационных обществ, исходя из общих требований безопасности. Суда для перевозки относительно тяжёлых грузов (большинство танкеров, навалочников, лесовозов и др.) в полном грузу обычно имеют высоту борта, равную минимально допустимой. У судов для перевозки относительно лёгких генеральных грузов, а также у пассажирских и многих других судов даже при полной загрузке высота надводного борта больше минимальной. Таким образом, различают суда с минимальным и избыточным надводным бортом.

По количеству палуб корпуса различают суда с одной, двумя и более палубами (многопалубные). Суда для перевозки массовых грузов, как правило, однопалубные. Высота укладки многих генеральных грузов ограничена, поэтому устройством нижних палуб обеспечивается необходимая высота твиндеков и трюмов.

¹ Под верхней палубой понимается непрерывная по всей длине самая верхняя палуба судна. Главная палуба – палуба, по которой доводятся поперечные водонепроницаемые переборки. Верхняя палуба обычно и является главной, но не всегда.

² Удлиненным принято считать бак, длина которого равна или более четверти длины судна.

Для быстрого проведения грузовых операций размеры люков в палубах многих судов делают как можно большими. Однако при большой ширине корпуса это приводит к слишком тяжёлым и громоздким люковым закрытиям. Тогда по ширине располагают два или три люка (парные или строенные люки). Суда, у которых ширина люков составляет более 70 % от ширины корпуса, называют открытыми (с широким раскрытием палуб). Если ширина люков обеспечивает проведение грузовых работ без горизонтального перемещения грузов в трюме, то суда называют полностью открытыми (с полным раскрытием люков).

При большой ширине люковых отверстий корпус судна может оказаться недостаточно жёстким на кручение, а в верхней палубе резко возрастают напряжения от общего изгиба корпуса. Для обеспечения прочности открытых судов верхняя палуба специально усиливается.

Наливные суда имеют одну сплошную непроницаемую палубу. Сплошные палубы характерны также для накатных судов. Такие суда часто не имеют поперечных переборок в грузовой части, поэтому нижние палубы делают с герметично закрывающимися отверстиями, обеспечивающими непотопляемость судна.

Грузовые отверстия могут быть не только в палубах, но и в оконечностях корпуса, а также в бортах (лацпорты).

Переборки корпуса судна во многом определяют конструкцию всех остальных перекрытий (днища, бортов, палуб), так как являются для них опорами. На большинстве судов поперечные переборки образуют отсеки, обеспечивая непотопляемость и жёсткость корпуса судов. Но есть суда без поперечных переборок в грузовом пространстве (например, накатные, бункерные навалочники). На таких судах непотопляемость и жёсткость корпуса обеспечивается (но не всегда в полной мере) двойным дном, двойными бортами и (или) сплошными палубами.

На крупнотоннажных судах (танкеры, рудовозы и др.) часто применяются продольные переборки.

Существует множество других факторов, определяющих архитектурно-конструктивные особенности судов, однако первопричиной всех особенностей является назначение судна. Существует афоризм «груз делает судно» /4/. Поэтому в дальнейших разделах рассмотрим характерные особенности наиболее распространенных типов судов, определяемых их назначением.

4. СУДА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ МАССОВЫХ ГРУЗОВ

4.1. Танкеры

В 1886 г. был спущен на воду танкер «Gluckauf» (дедвейт 2300 т). Это судно первым официально зарегистрировано Английским Ллойдом как танкер, поэтому часто историю танкеростроения обычно начинают с него.

Танкерный флот рос быстро. Увеличивались и размеры танкеров, особенно перевозящих сырую нефть (рис. 4.1).

В терминологии судостроения и судоходства появились понятия: суда-«мамонты» или Very Large Crude Carrier (VLCC) – дедвейтом от 175 до 300 тыс. т; суда-«монстры» или Ultra Large Crude Carrier (ULCC) – дедвейтом свыше 300 тыс. т. Самый большой танкер мира «Batillus» (Франция – $L_{\perp} = 401,1$ м; $B = 63,0$ м; $H = 35,9$ м; $DW = 554$ тыс. т) вошел в строй в 1976 г. (рис. 4.2).

Танкеры тех времён строились с продольными переборками (от одной до трёх) и сравнительно большим количеством поперечных переборок, на расстоянии до $0,1L$ (или до $0,2L$ – при наличии промежуточных отбойных переборок), с одинарными бортами и днищем. Система набора корпуса – смешанная или продольная. Рамные связи с высокими стенками (так называемые отбойные листы) образуют мощные поперечные и продольные рамы, гасящие энергию слошинга – ударов жидкого груза о конструкции при качке судна. Примеры конструкций танкеров приведены на рис. 4.3, 4.4.

Для приёма балласта использовались грузовые танки. При сливе балласта загрязнялась окружающая акватория, поэтому с ростом тоннажа и размеров танкеров обострилась экологическая проблема их эксплуатации. В результате появились суда с чисто балластными танками, предназначенными только для заполнения водой в балластном переходе. Такие танкеры имеют и эксплуатационные преимущества: уменьшение коррозии грузовых танков, сокращение времени стоянки в порту (балласт может приниматься параллельно с операцией разгрузки), отсутствие необходимости мыть танки (если нет перемены сорта груза) и т.д.

Однако наибольший общественный резонанс вызывали катастрофы с танкерами. В 1967 г. у берегов Англии разломился супертанкер «Torgue Canyon». 120 тыс. т нефти вылилось в море, угрожая всему живому в огромном районе. В 1978 г. у берегов Франции сел на мель и разломился супертанкер «Amoco Kadis», вылив в море 220 тыс. т нефти. Подобных катастроф с тех пор было несколько десятков. Главными причинами аварий были несовершенные конструкции, плохое техническое состояние судов, неопытные, плохо оплачиваемые экипажи, безответственность инспектирующих технических служб и судовладельцев.

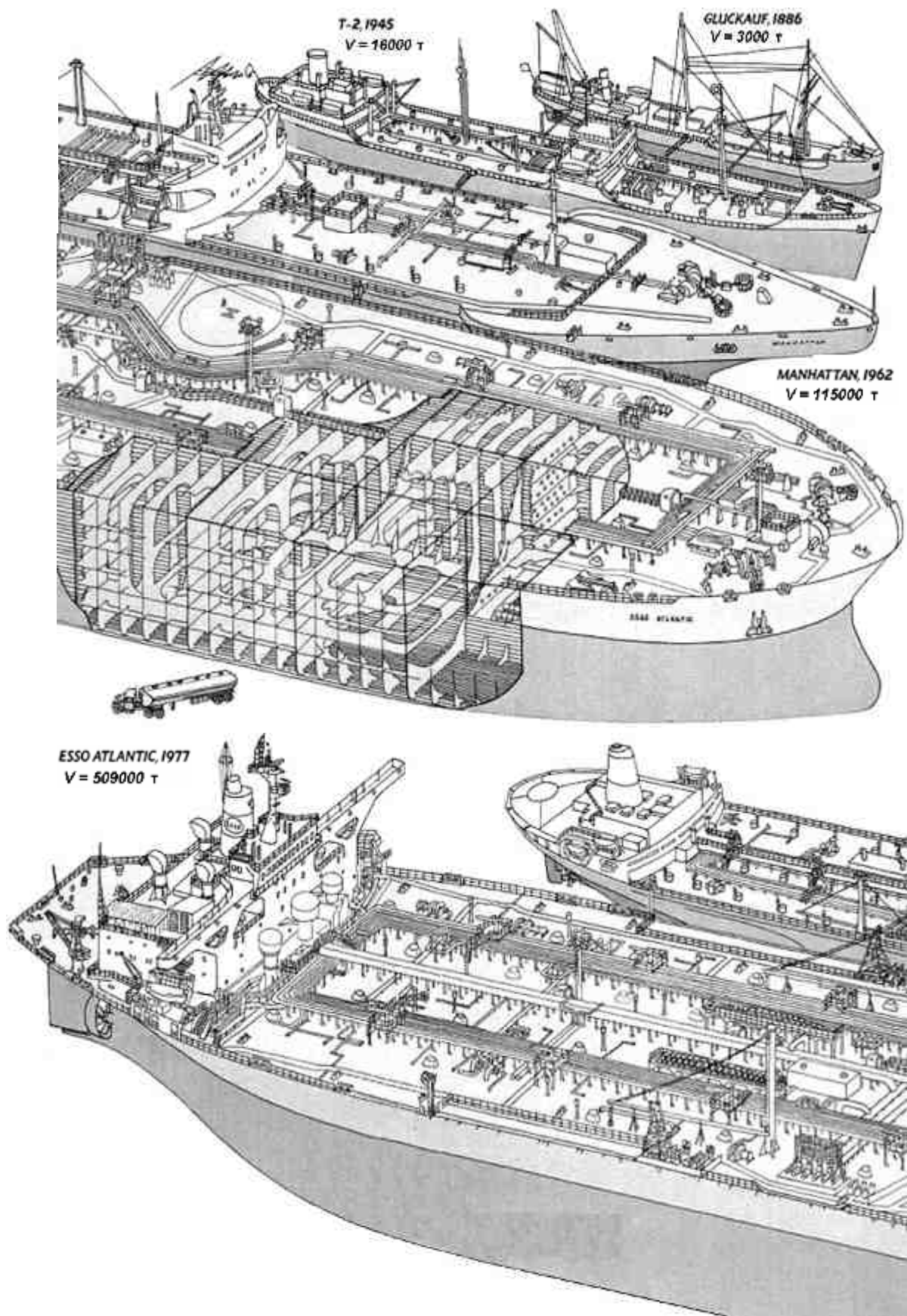


Рис. 4.1. Эволюция танкеров до середины 70-х годов XX века /21/

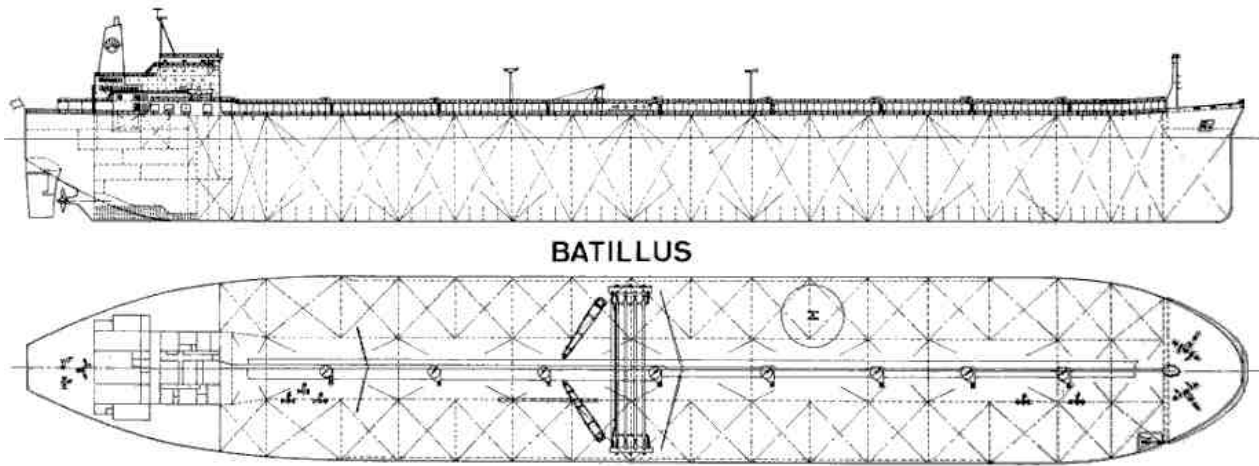


Рис. 4.2. Нефтеналивные танкеры типа «Батиллус» – самые большие из всех транспортных судов (высота борта 35,9 м; осадка 28,6 м)

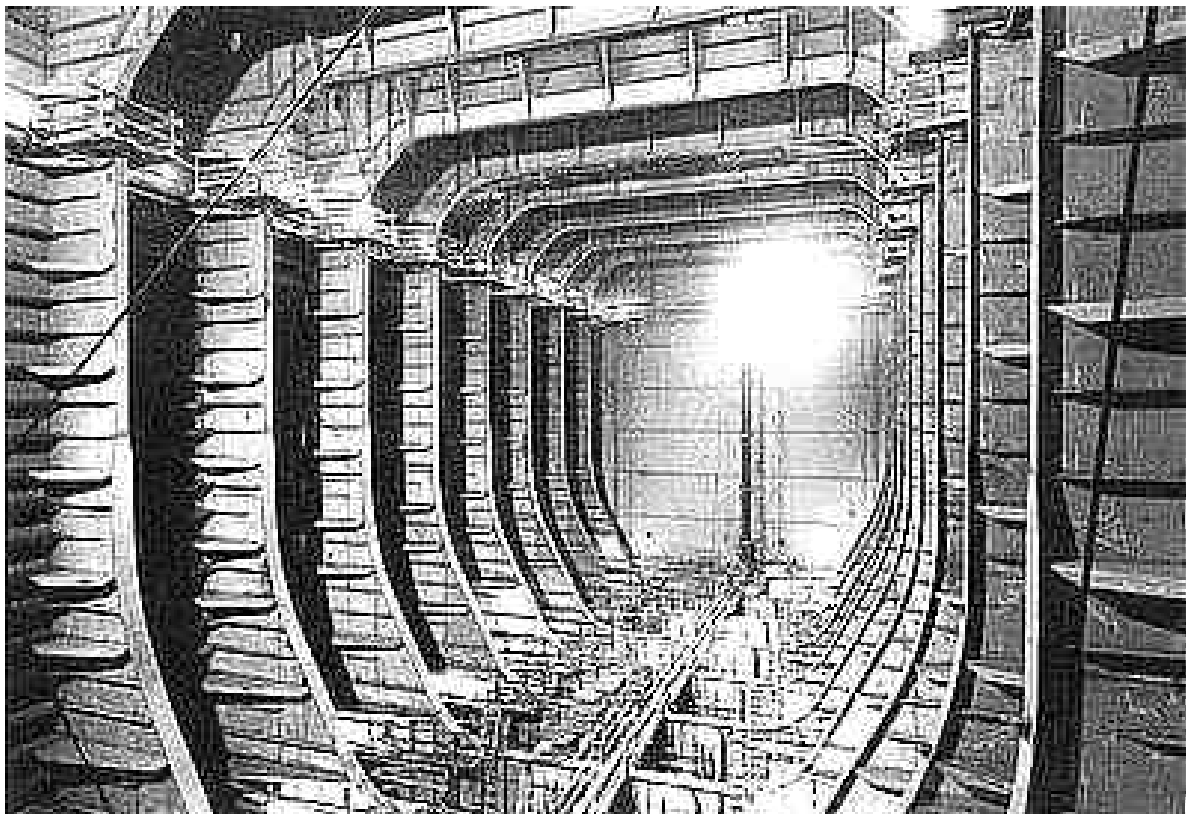


Рис. 4.3. Грузовой танк судна «Exxon Valdez» (вылившего в море 37 тыс. т нефти при столкновении с айсбергом у берегов Аляски в 1989 г.)

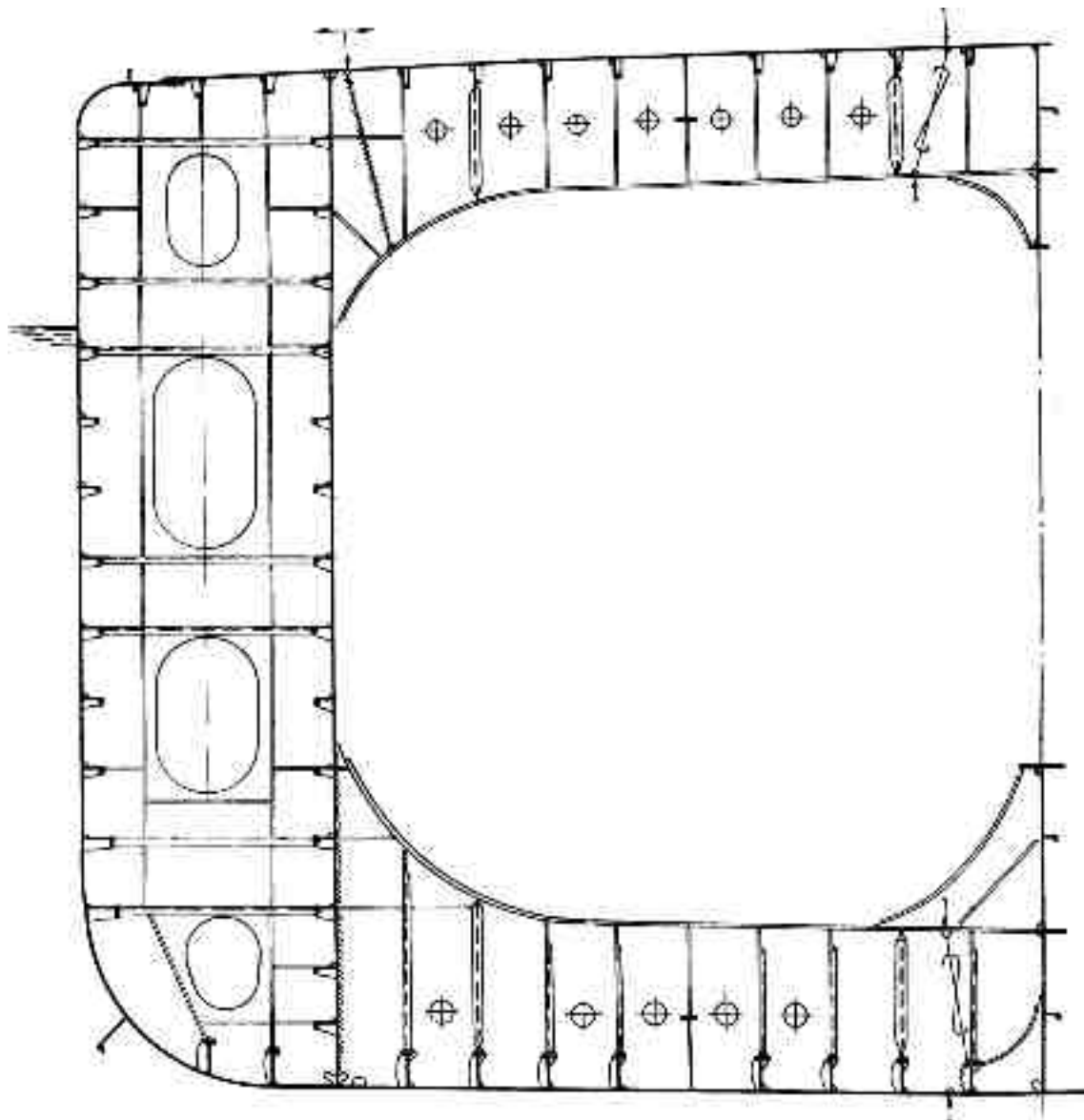


Рис. 4.4. Мидель-шпангоут танкера типа «Владивосток» (DW = 15 тыс. т)

В связи с экологической опасностью танкеров Международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов (MARPOL), принятая в 1973 г. с дополнительным Протоколом 1978 г., выдвинула ряд требований к конструкции корпуса танкеров, в том числе:

- 1) обязательное наличие чисто балластных танков;
- 2) ограничение предельных размеров танков с целью уменьшения разливов нефти при аварии;
- 3) создание конструктивной защиты в виде двойного дна и двойных бортов, высотой (шириной) до 2 м.

Когда в 70-х годах XX в. разразился энергетический кризис, множество «грязных» супертанкеров было выведено из эксплуатации. В результате формирования новых требований к танкерам в настоящее время строятся «эколо-

гически чистые» танкеры с двойным дном и двойными бортами. Набор двойных бортов и двойного дна не контактирует с жидким грузом. В результате упрощается зачистка танков. Для уменьшения коррозии подпалубного набора на многих современных танкерах набор стали размещать наружу (рис. 4.5).

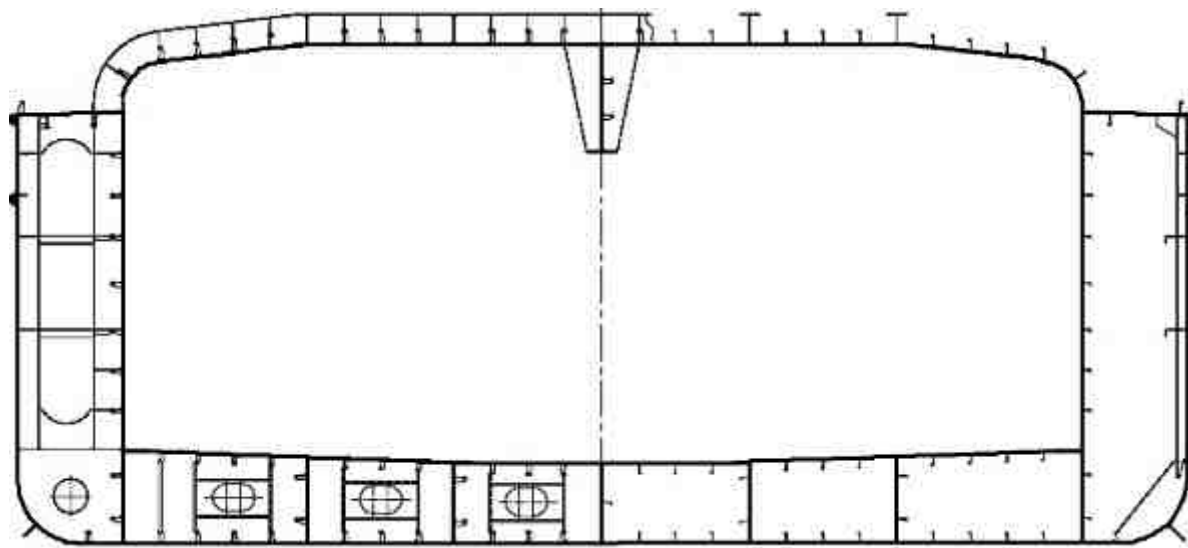


Рис. 4.5. Мидель-шпангоут двухкорпусного танкера с надпалубным набором

Вместе с тем двухкорпусные танкеры имеют ряд недостатков по сравнению с однокорпусными: они дорогие и тяжёлые; срок службы их оказался меньшим в связи с повышенной коррозией и трудностью её контроля в междудонных и междубортных балластных цистернах. Двойной корпус представляет собой удвоенную поверхность для разрушительной работы коррозии. Мало того, такой корпус действует как термос, не давая морской воде охлаждать содержимое танков. А скорость коррозии увеличивается вдвое с повышением температуры на каждые $7\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Грузовое пространство танкеров отделено от МО и форпика коффердамами (короткими пустыми отсеками длиной обычно в одну шпацию). Типичное расположение танков двухкорпусника приведено на рис. 4.6.

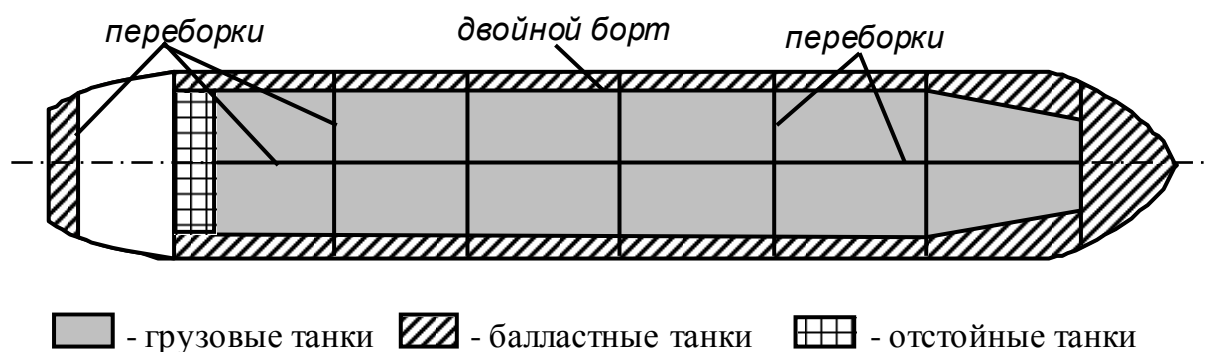


Рис. 4.6. Типичное расположение переборок и цистерн танкера

Типичные поперечные сечения морских танкеров схематически представлены на рис. 4.7.

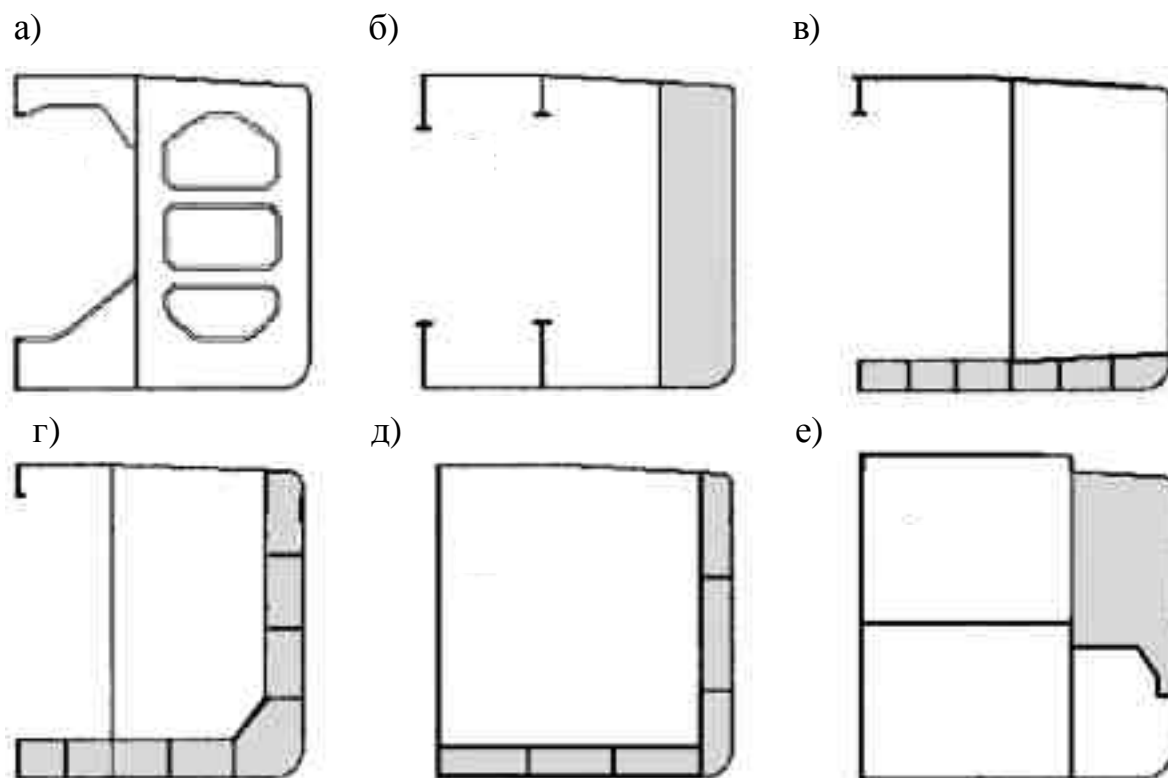


Рис. 4.7. Типовые миделевые сечения крупнотоннажных танкеров (закрашены балластные цистерны):

а – однокорпусный, с двумя продольными переборками; б – с двойным бортом; в – с двойным дном; г – двухкорпусный с двумя продольными переборками; д – двухкорпусный с одной продольной переборкой; е – с промежуточной палубой и бортовыми балластными цистернами (типа Coulombi Egg /18/)

Небольшие танкеры для сырой нефти являются обычно однокорпусными. На речных судах допускается применение так называемой двухъярусной или навесной системы набора (рис. 4.8). В такой конструкции балки основного набора не проходят сквозь вырезы в рамных балках, как при традиционной (нарезной) системе набора. Рамные балки имеют два пояска (двутавр или швеллер). Одним из поясков они привариваются к пояскам основного набора. Такая конструкция является высокотехнологичной (исключаются сложные узлы пересечения балок) и удобной в эксплуатации (упрощается промывка танков), однако имеет меньшую несущую способность и надёжность, поэтому не допускается для морских судов.

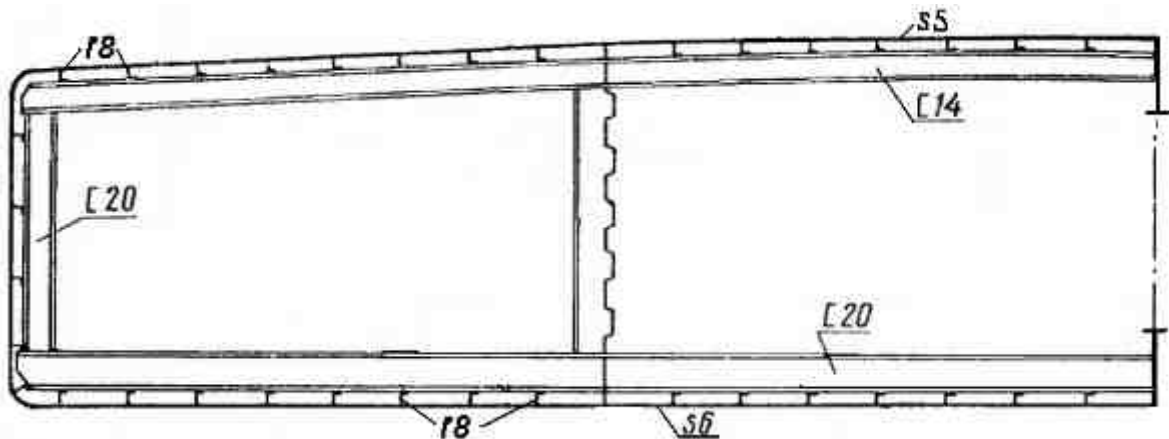


Рис. 4.8. Мидель-шпангоут нефтеналивной баржи с навесной конструкцией набора /16/

Разновидностью танкеров являются продуктово­зы (перевозящие лёгкие нефтепродукты) и химовозы – суда, имеющие встроенные или вкладные грузовые танки (обычно изнутри безнаборные и покрытые антикоррозионными покрытиями). Типичные поперечные сечения таких танкеров схематически представлены на рис. 4.9.

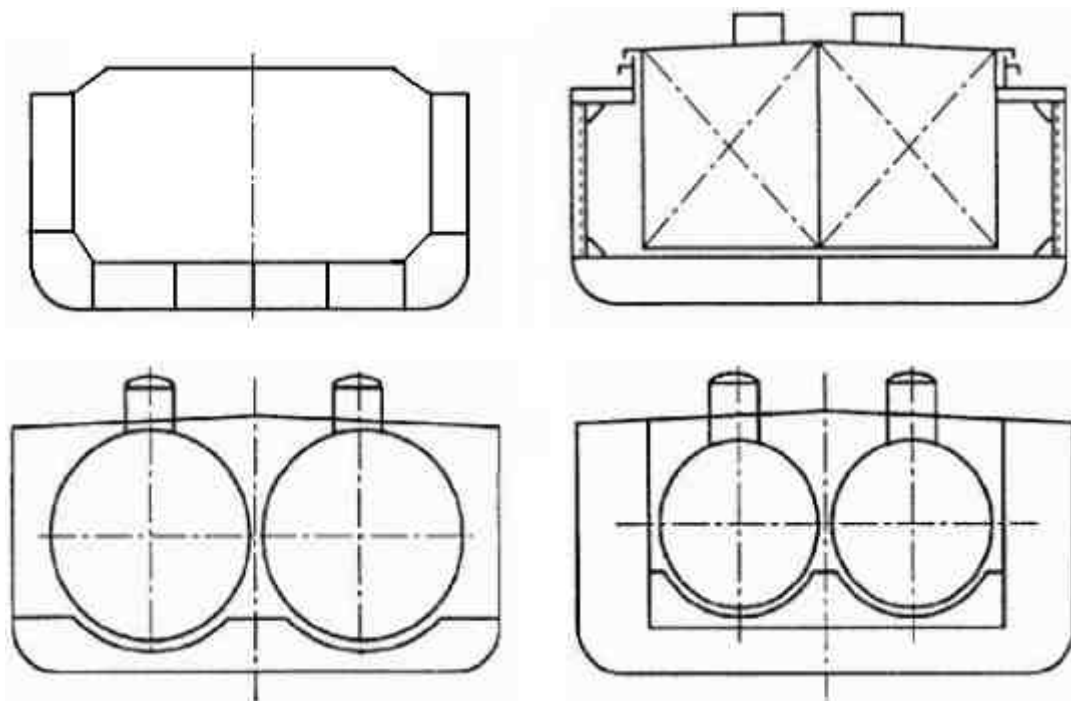


Рис. 4.9. Типовые миделевые сечения продуктово­зов и химовозов

К танкерам по характеру груза относятся и суда, предназначенные для перевозки сжиженных газов – газовозы. Специфика груза, находящегося в охлажденном до $-50...-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ состоянии, а иногда – и при высоком давлении, требует сложных конструктивных решений: применения специальных материалов, тщательной тепловой изоляции и т. д.

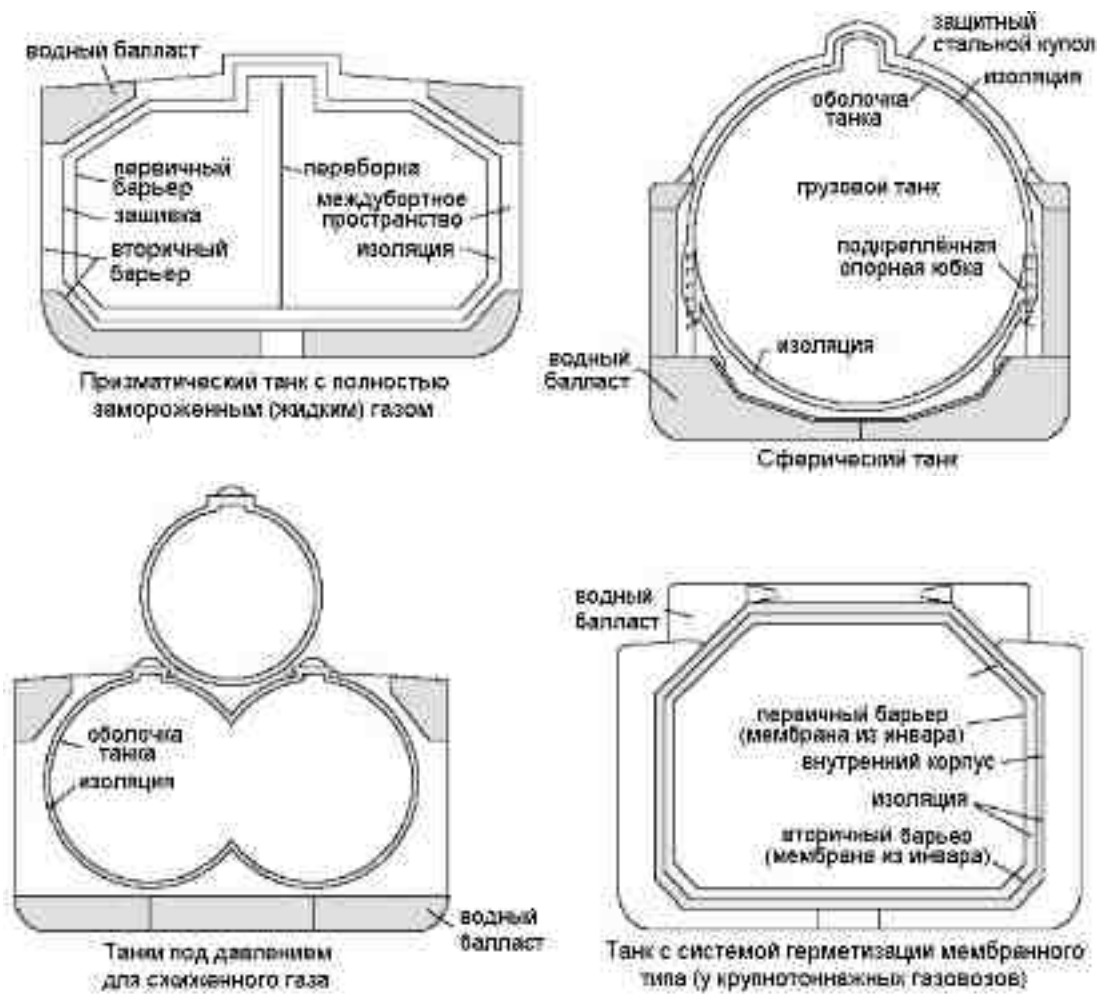


Рис. 4.10. Типовые миделевые сечения газовозов

Примеры конструктивных схем газовозов показаны на рис. 4.10 – 4.12.

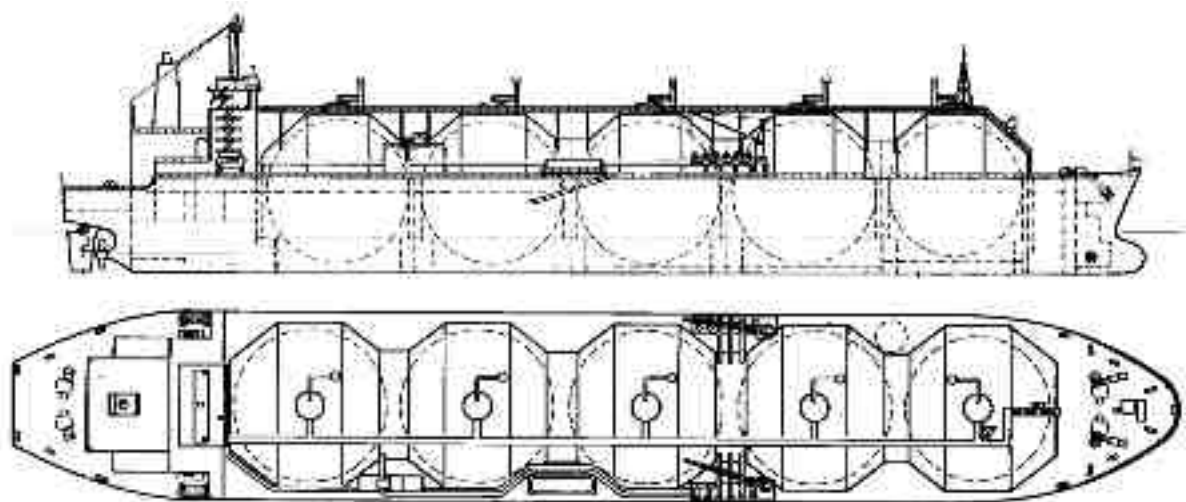


Рис. 4.11. Газовоз «Echigo Maru»

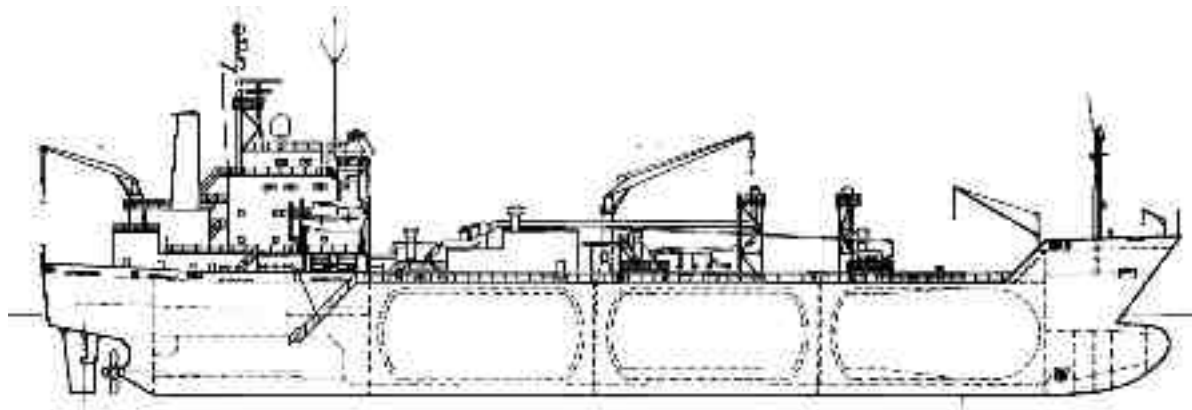


Рис. 4.12. Газовоз «WeserGas»

4.2. Навалочные суда

Первые (еще деревянные) суда, специально приспособленные для перевозки руды и зерна, начали строить в 60-х годах XIX в. на Великих озерах Северной Америки. Суда для перевозки массовых насыпных грузов называют по-разному: СНГ (суда для навалочных грузов); балкеры и балкерьеры (от слов bulk – навалочный и carrier – перевозчик); навалочники. К середине XX в. общий дефлеит навалочников был небольшой и в основном состоял из узкоспециализированных судов - рудовозов.

Руда, как известно, груз тяжелый, с малым удельным погрузочным объемом (до $1 \text{ м}^3/\text{т}$; например, железная руда – $0,42...0,48 \text{ м}^3/\text{т}$). При объемах трюмов, характерных для обычных судов, при полном использовании грузоподъемности судна руда лежит лишь в нижней части трюма, что приводит к понижению центра тяжести судна. Бортовая качка в шторм становится стремительной, резко ухудшающей обитаемость и вызывающей появление больших перегрузок, действующих на конструкции. Более того, резкая бортовая качка способна вызвать быстрое смещение груза на один борт. В результате судно кренится и может опрокинуться.

Для обеспечения остойчивости и плавности качки грузовой трюм навалочника должен быть заполнен доверху. Поэтому рудовозы имеют продольные переборки и высокое двойное дно (рис. 4.13, 4.14). В бортовых танках и двойном дне размещаются балластные цистерны.

С 1960 г. строительство «чистых» рудовозов пошло на убыль. Интенсивный рост объема перевозок различных массовых насыпных грузов (уголь, зерно, цемент, сахар, минеральные удобрения, соль, бокситы и др.) с большим диапазоном удельной погрузочной кубатуры – от $0,4$ (руда) до $3,2$ (торф) $\text{м}^3/\text{т}$ – привел к развитию других специализированных судов (углевозов, зерновозов и др.) и универсальных балкеров. В настоящее время рудовозы составляют небольшую долю в общем тоннаже навалочников.



Рис. 4.13. Типовые миделевые сечения рудовозов

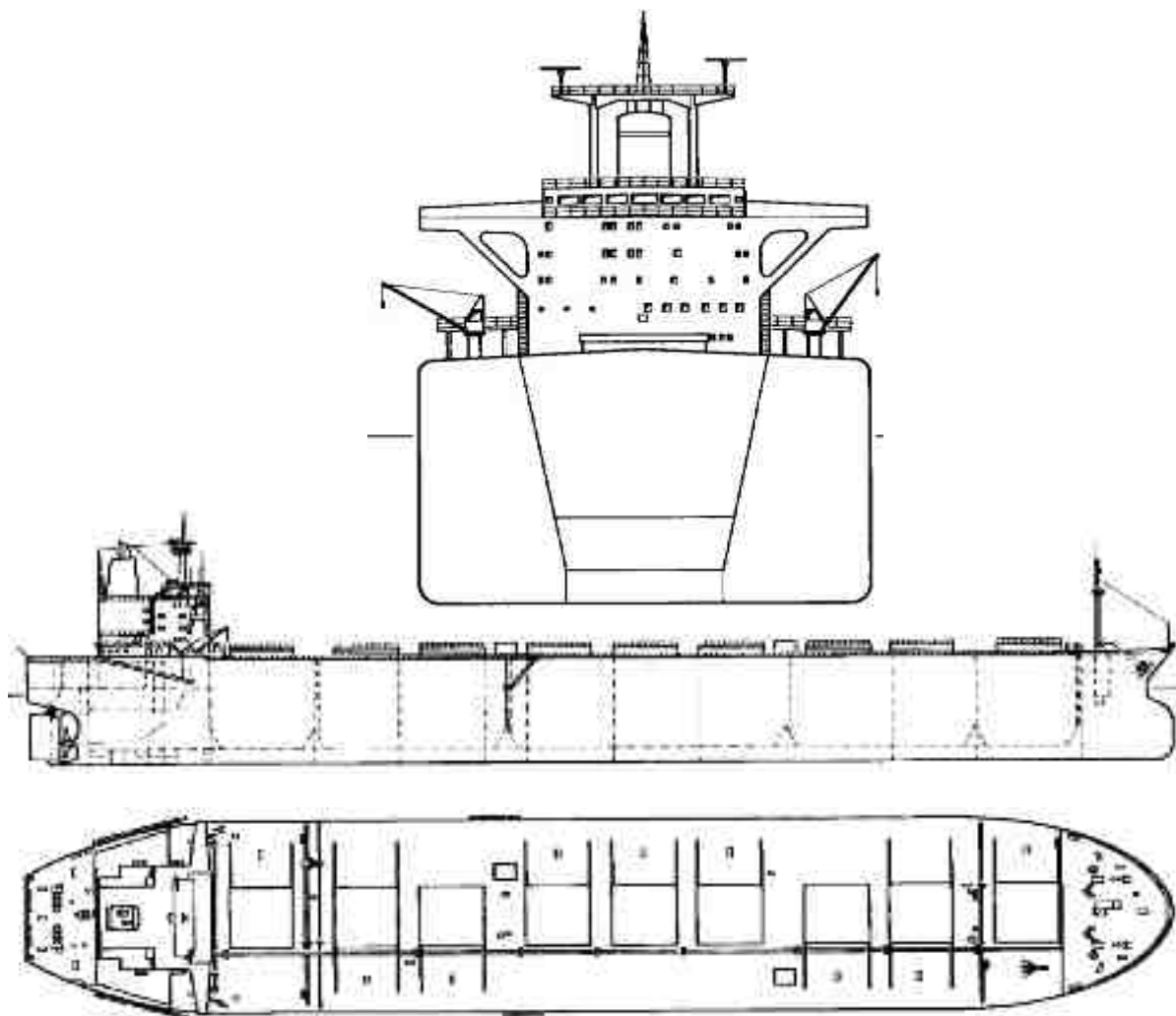


Рис. 4.14. Рудовоз «Oyashima Maru»¹

¹ Этот и некоторые другие рисунки автору любезно предоставил Н.А. Мытник

У балкеров для относительно лёгких навалочных грузов, а также у универсальных навалочников архитектурно-конструктивный тип достаточно стабилен: кормовое расположение машинного отделения, однопалубный, с подпалубными и скуловыми цистернами (рис. 4.15 – 4.17).

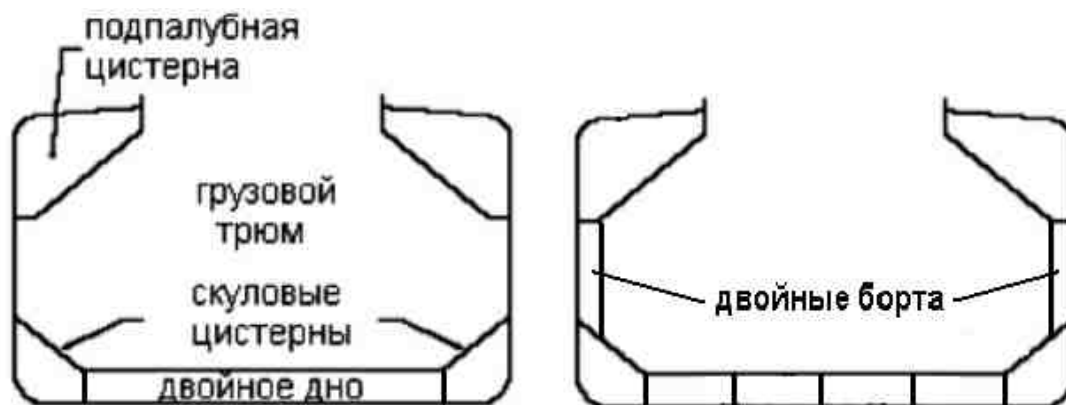


Рис. 4.15. Типовые миделевые сечения навалочников

Подпалубные цистерны своей наклонной стороной препятствуют самоштивке (произвольному пересыпанию при качке) груза, скуловые – обеспечивают ссыпание груза под просвет люка при разгрузке. В балластном переходе цистерны служат для принятия балласта.

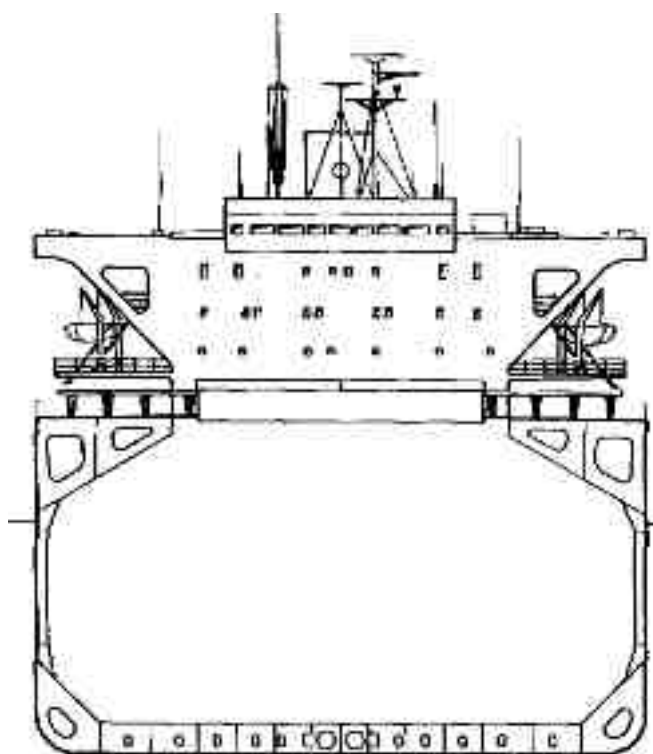


Рис. 4.16. Навалочник «Federal Hunter»

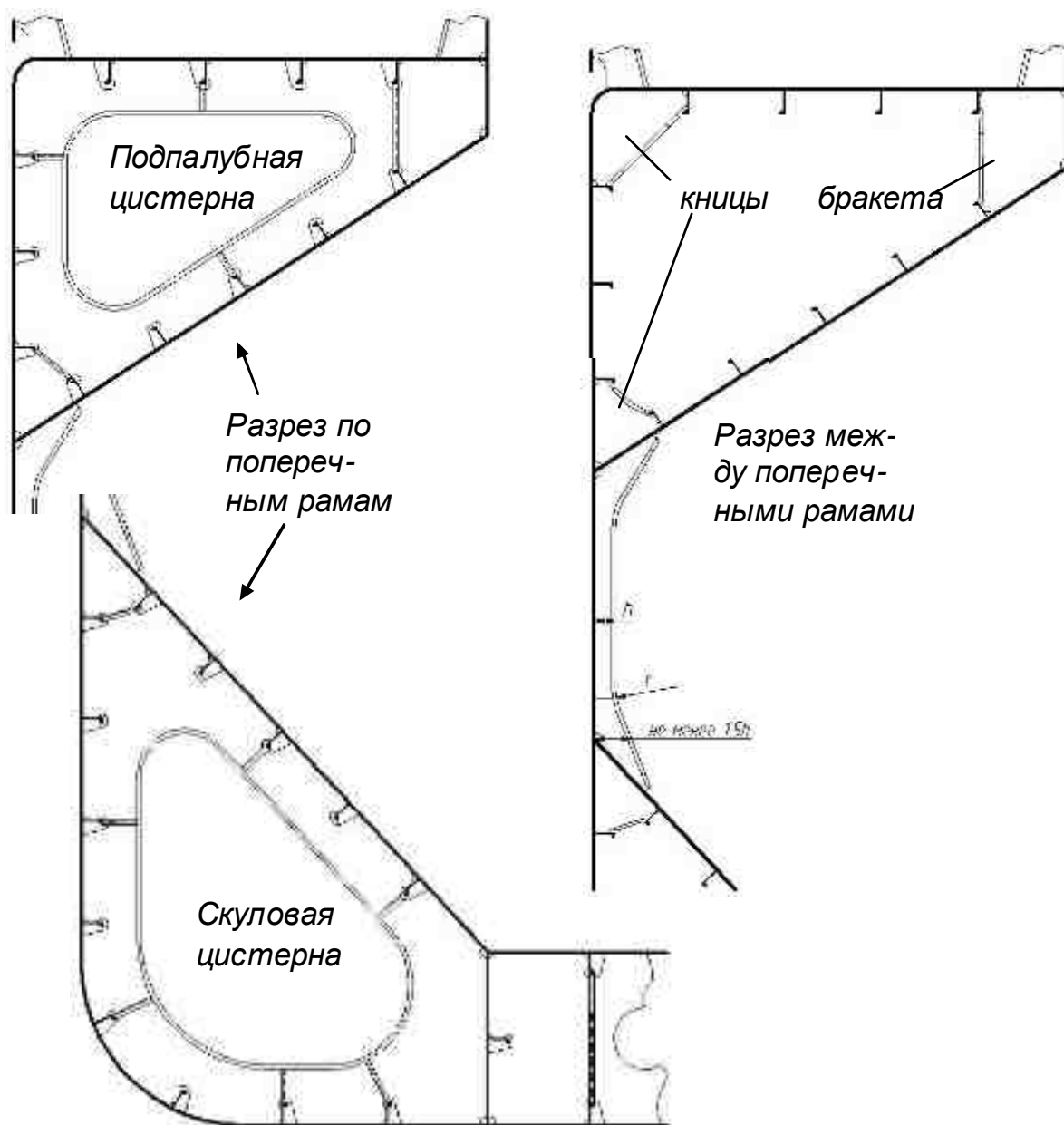


Рис. 4.17. Элементы конструкций навалочника

Универсальные суда для навалочных грузов (УСНГ) должны отвечать противоречивым требованиям, которые предъявляет к ним перевозка разных по плотности навалочных грузов: с одной стороны – достаточная грузоподъемность при перевозке легких грузов, соответствующая полному использованию грузоподъемности; с другой стороны – умеренная качка и исключение самоштивки при перевозке тяжелых грузов, занимающих малый объем.

Решение этой проблемы состоит в том, что при перевозке лёгких грузов используются все трюмы, а для руды применяется чередующаяся загрузка трюмов – через один. Кроме того, трюмы имеют разную длину: для руды предназначены короткие трюмы, для грузов средней плотности – длинные трюмы, а для лёгких грузов – все трюмы (рис. 4.18).

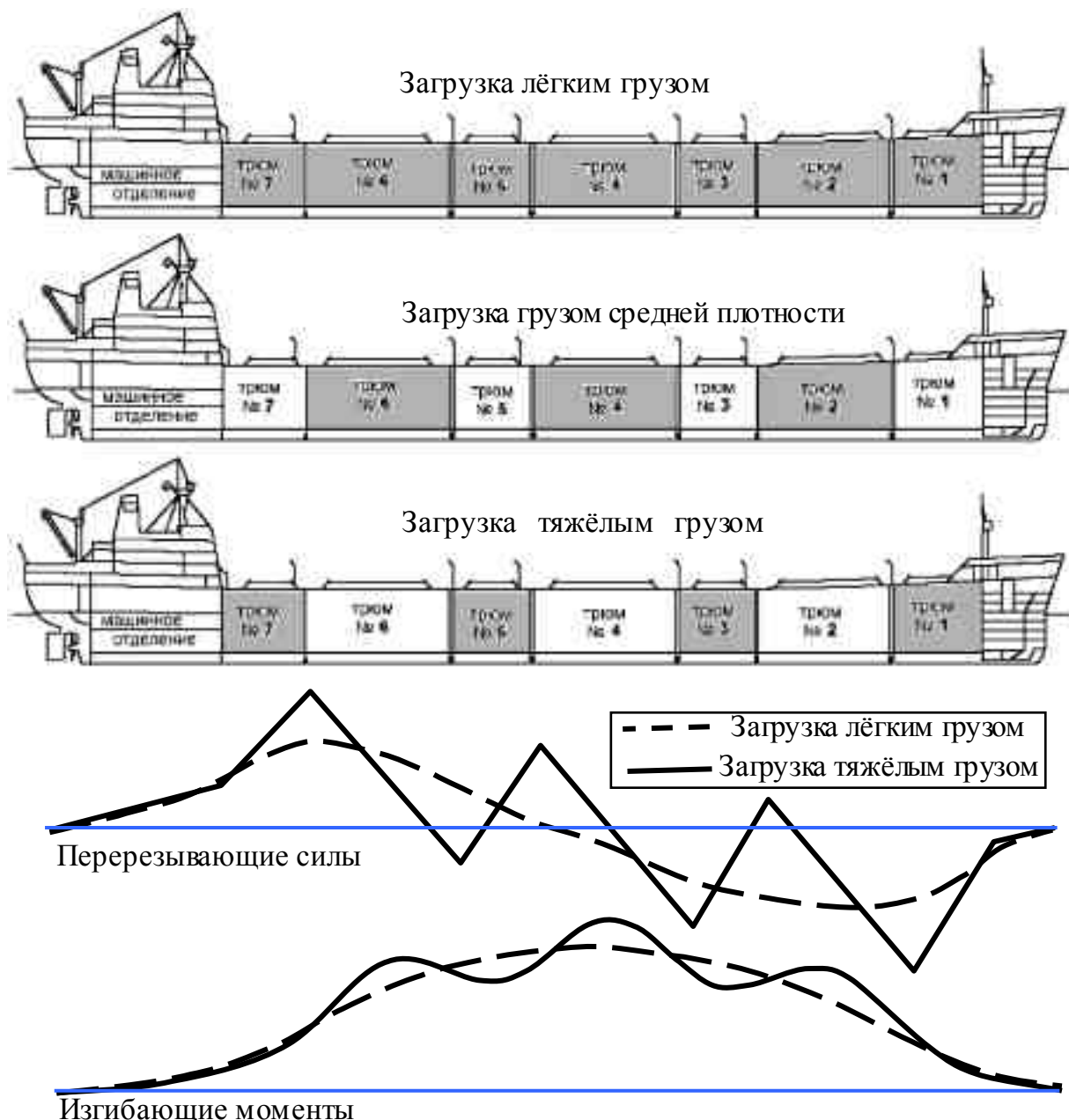


Рис. 4.18. Влияние чередующейся загрузки трюмов на нагрузки, вызывающие общий продольный изгиб корпуса судна

Как видно из рис. 4.18, чередующаяся загрузка трюмов ведет к созданию резкой неравномерности распределения нагрузки по длине судна, что вызывает возрастание максимальных значений срезающей силы и изгибающего момента. Особенно значительно увеличиваются перерезывающие силы (иногда до четырех раз). В результате необходимости обеспечения общей прочности таких судов, их корпус тяжелее, чем у специализированных балкеров. Резкие пики перерезывающих сил вызывают концентрации напряжений. Эти обстоятельства, по-видимому, являлись одной

из основных причин целого ряда катастроф с балкерами, когда в штормовой обстановке они переламывались пополам либо у них отламывалась носовая оконечность¹.

Среди навалочников следует отметить саморазгружающиеся суда. Они оборудуются автоматизированной системой транспортеров (ленточных, ковшовых, винтовых) для перемещения груза внутри судна, подачи его на палубу и передачи с помощью поворотной стрелы с транспортером на причал.

Постройка таких судов целесообразна для обслуживания коротких рейсов на постоянных линиях в неприспособленные для разгрузки порты. Разгрузочное устройство существенно влияет на архитектурно-конструктивный тип судна: трюмы представляют собой бункеры, под которыми вдоль судна устраиваются туннели для транспортеров (рис. 4.19). Такие суда широко распространены на Великих озёрах в Северной Америке.

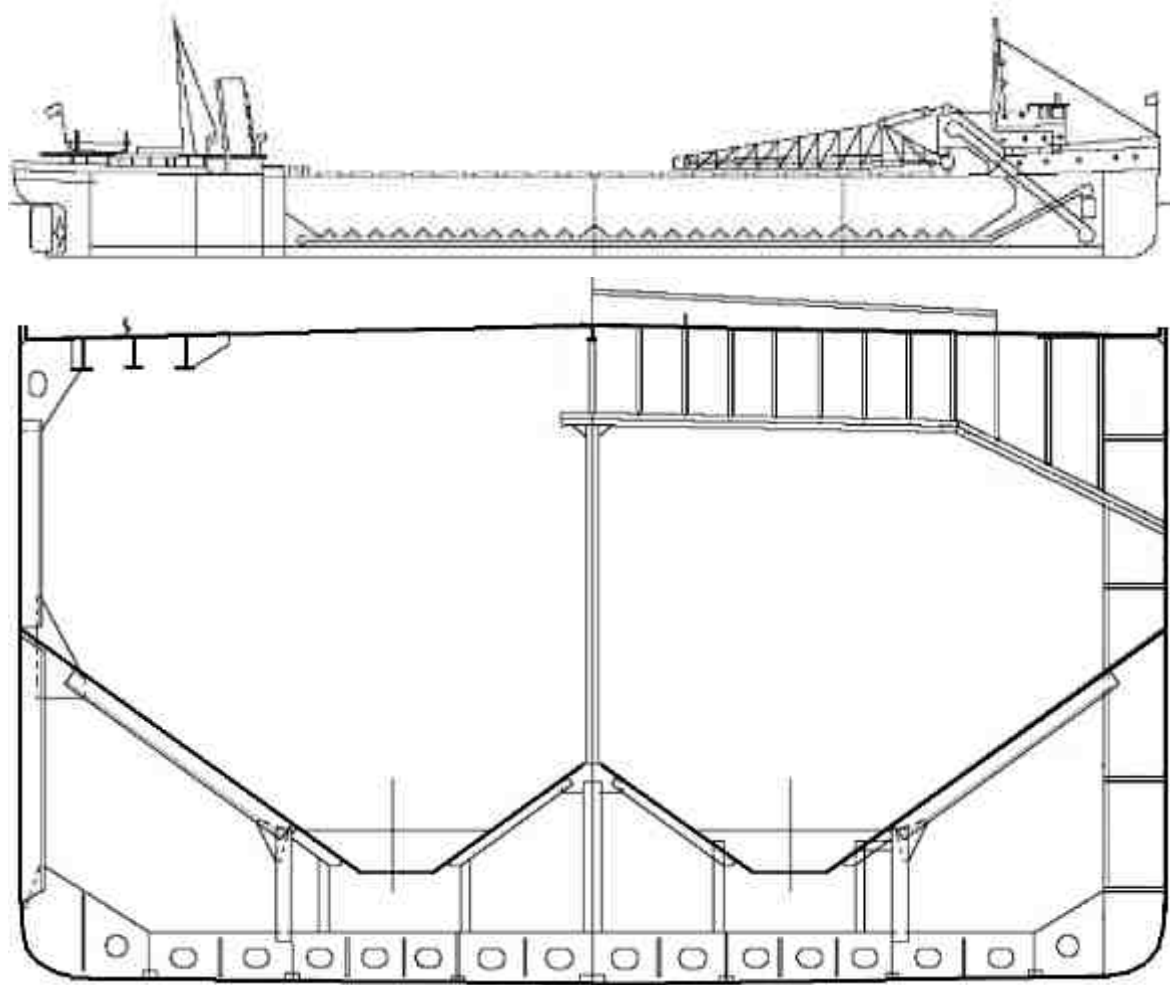


Рис. 4.19. Саморазгружающееся навалочное судно Великих озёр

¹ С 1980 г. затонуло около 170 балкеров, унеся с собой более 1300 человеческих жизней.

Навалочные суда внутреннего плавания имеют существенно отличный от морских архитектурно-конструктивный тип. Это объясняется условиями их эксплуатации, в первую очередь, малыми глубинами и небольшими волнами. Поэтому речные балкеры и танкеры имеют малые осадки, большие отношения L/H и V/H . Большая часть речных навалочников являются самоходными судами (баржами).

Два основных типа речных балкеров: бункерные и площадочные суда.

Бункерный навалочник (рис. 4.20 – 4.22) имеет двойное дно и широкие двойные борта, между которыми располагается грузовой бункер, не разделённый поперечными переборками, идущий от переборки форпика до машинного отделения (или до ахтерпика – у баржи). Непотопляемость судна обеспечивается разделением переборками только двойных бортов и дна.

Одна из основных проблем проектирования конструкции такого судна состоит в том, что двойное дно не поддерживается поперечными переборками – длина перекрытия равна длине всего бункера. Местная прочность двойного дна обеспечивается флорами, пролёт которых равен расстоянию между продольными переборками (внутренними бортами). Стрингеры и киль не поддерживают флоры, как у судов с поперечными переборками, так как им самим опереться не на что. Для уменьшения пролёта флоров часто внутренние борта выполняются наклонными.

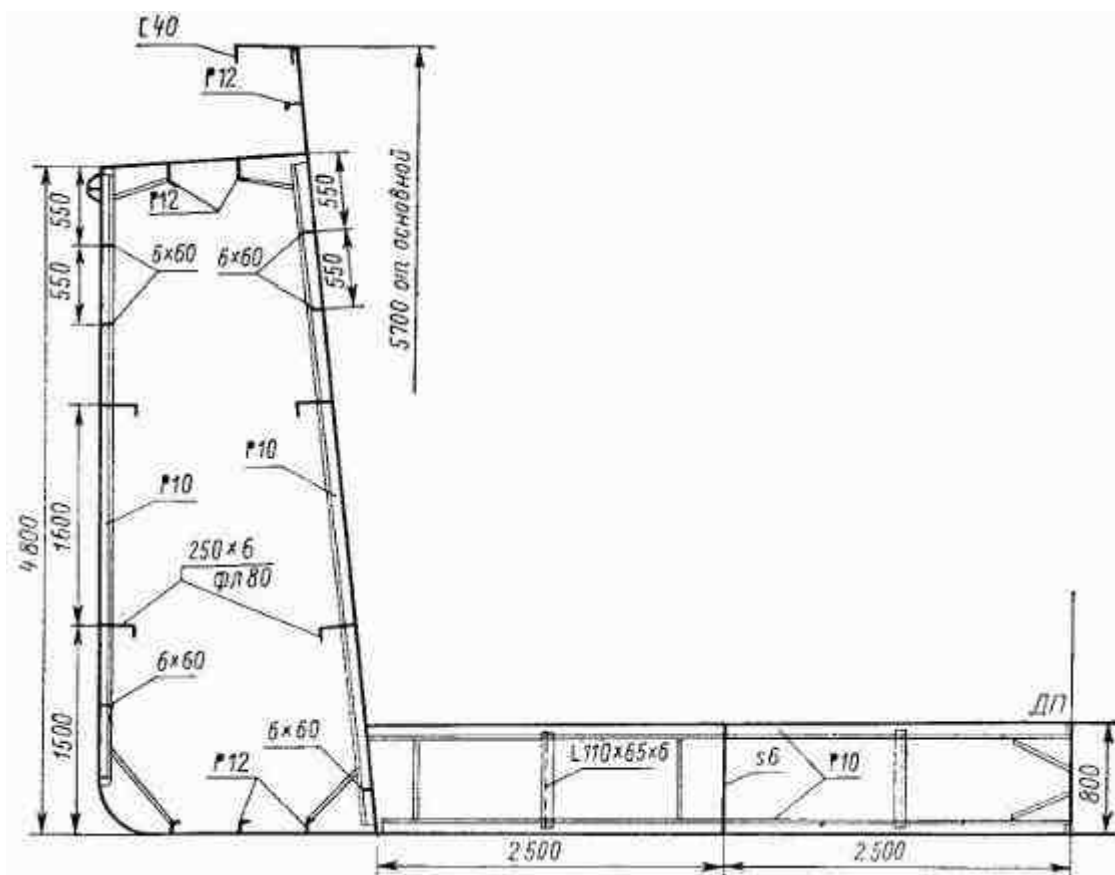


Рис. 4.20. Разрез по холостому шпангоуту бункерной баржи проекта 1787/16/

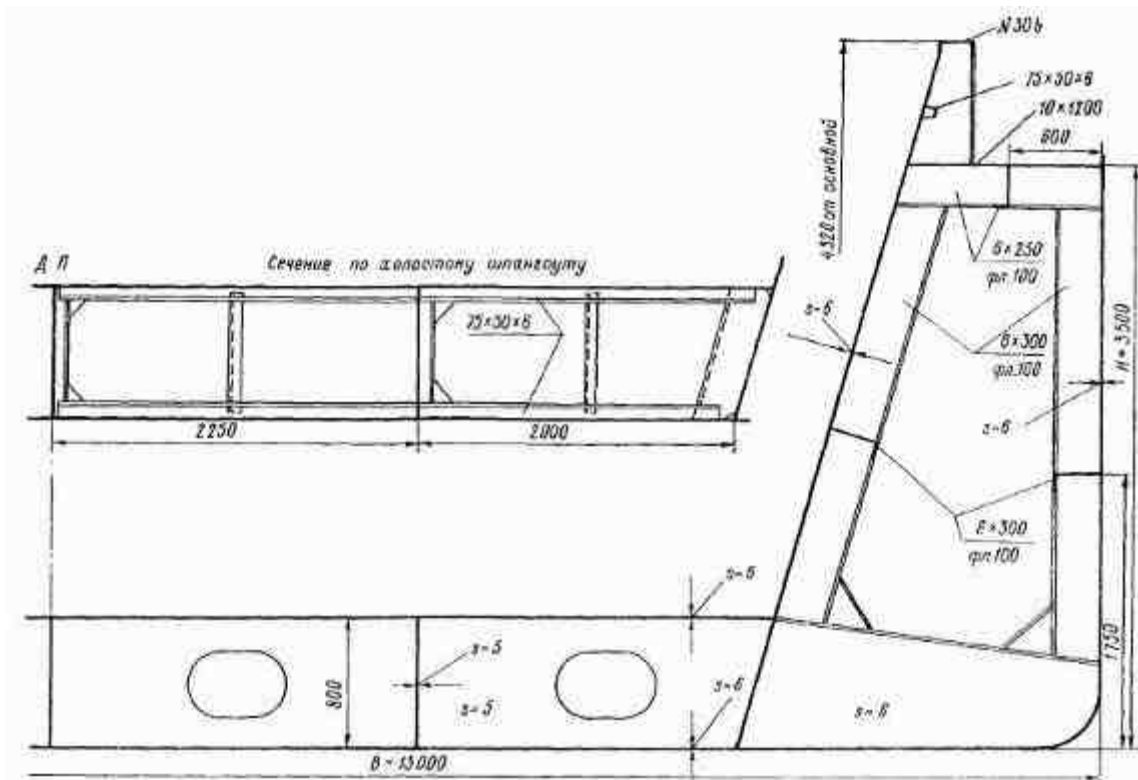


Рис. 4.21. Мидель-шпангоут бункерной баржи проекта 567

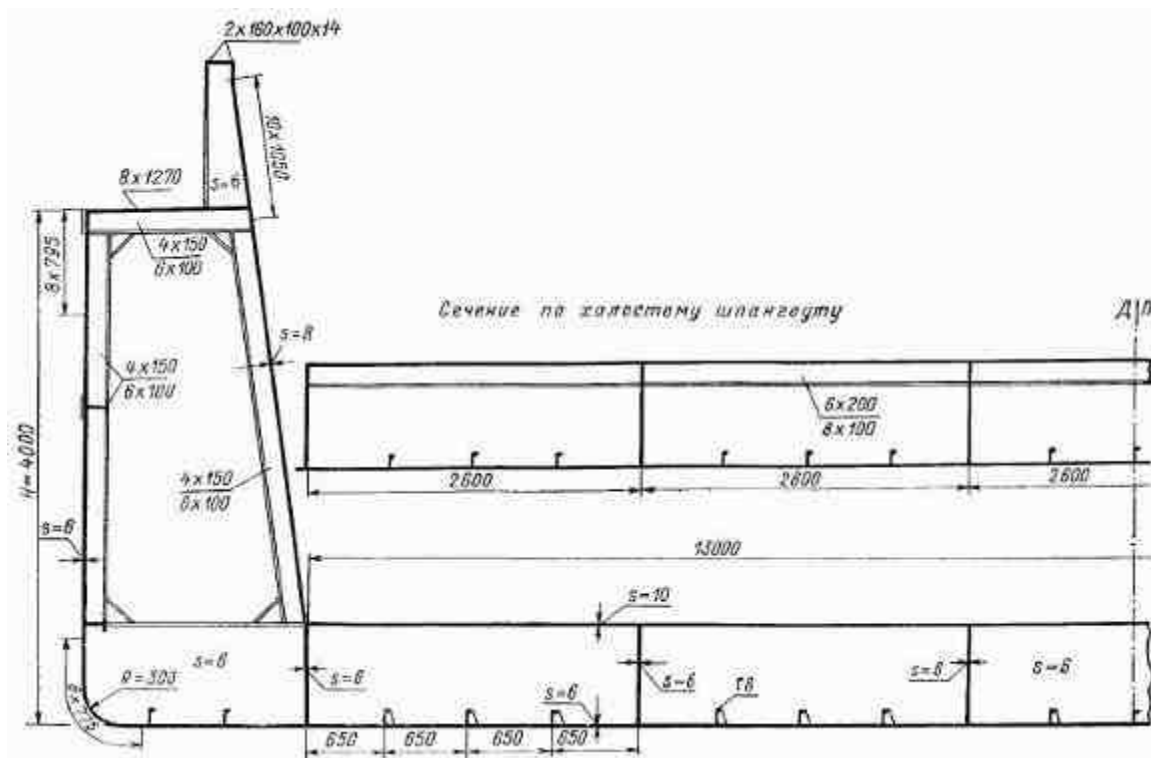


Рис. 4.22. Мидель-шпангоут бункерной баржи проекта P29¹

¹ Рис. 4.21 и 4.22 – из диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук Г. В Егорова. «Методология обеспечения надёжности и безопасности корпусов судов ОРП» - Николаев: Украина, 2004.

У площадочного судна грузовое пространство расположено на палубе, огороженной с бортов и в оконечностях комингсами (рис. 4.23 – 4.24).

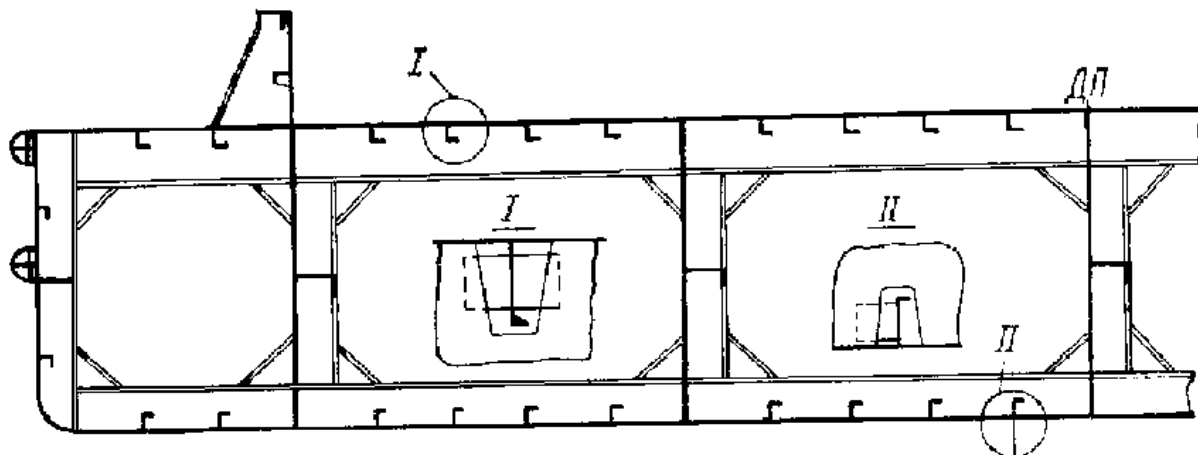


Рис. 4.23. Мидель-шпангоут баржи – площадки грузоподъемностью 1000 т/16/

Местная прочность палубы и днища обеспечивается тем, что они связаны системой поперечных и продольных переборок, пиллерсов или раскосов (наклонных стержней).

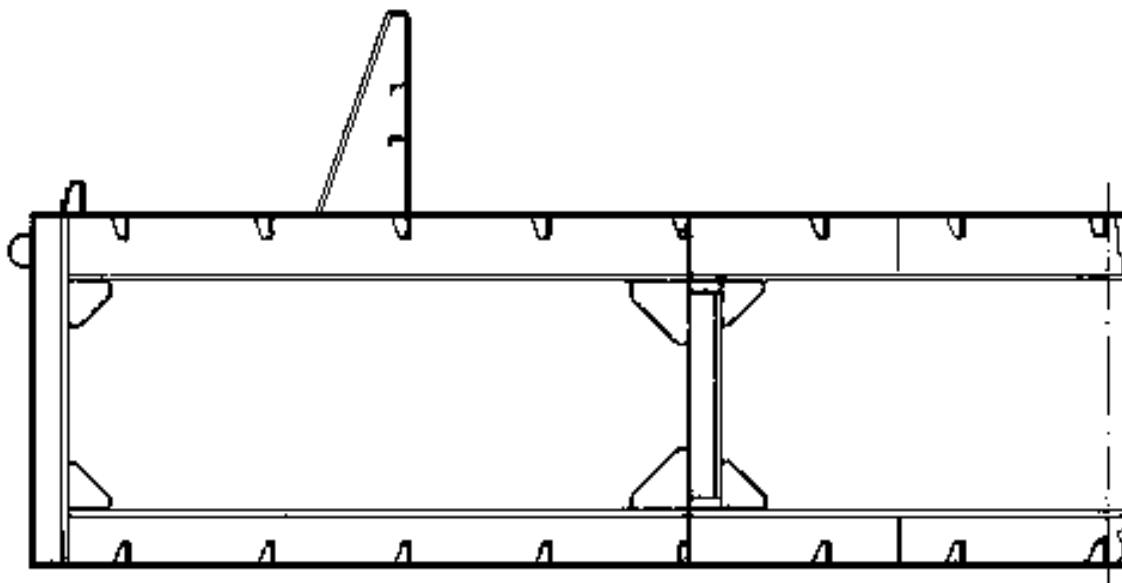


Рис. 4.24. Мидель-шпангоут баржи – площадки пр. 81210 /8/

При эксплуатации речных навалочников нередко случаи нарушения их общей прочности (переломов корпуса). При этом, в отличие от морских судов, переломы происходят на тихой воде. Причин этому несколько:

1) коррозионный износ, истирание и остаточные эксплуатационные местные деформации (переломы чаще происходят со старыми судами);

2) неправильная последовательность загрузки или выгрузки бункеров, при которой возникает неравномерное распределение груза по длине и рост наибольшего изгибающего момента и перерезывающей силы;

3) перегруз и неравномерное по длине распределение груза – «горками»;

4) посадка на мель.

Так как высота борта речных судов относительно мала, обеспечение общей продольной прочности достигается применением продольной системы набора палубы и днища даже при относительно небольших длинах корпуса (менее 80 м).

4.3. Комбинированные суда

Недостаточная эффективность использования узкоспециализированных судов (обратный рейс делается без груза, в балласте) привела к появлению комбинированных судов, приспособленных для перевозки двух видов грузов в разных направлениях. Один из основных типов таких судов – нефтерудовозы. Позднее появились суда многоцелевого назначения – типа ОВО (Oil-Bulk-Ore), приспособленные для перевозки руды, насыпных и жидких грузов. Схемы мидель-шпангоутов таких судов приведены на рис. 4.25.

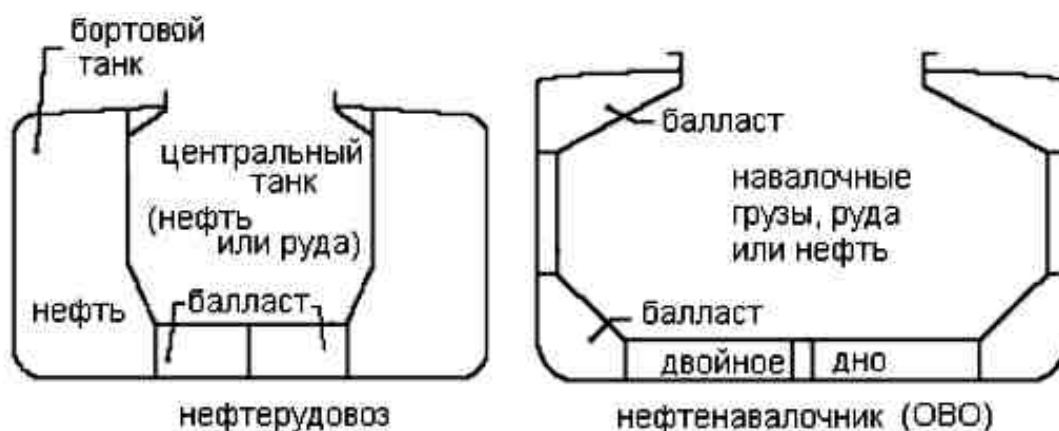


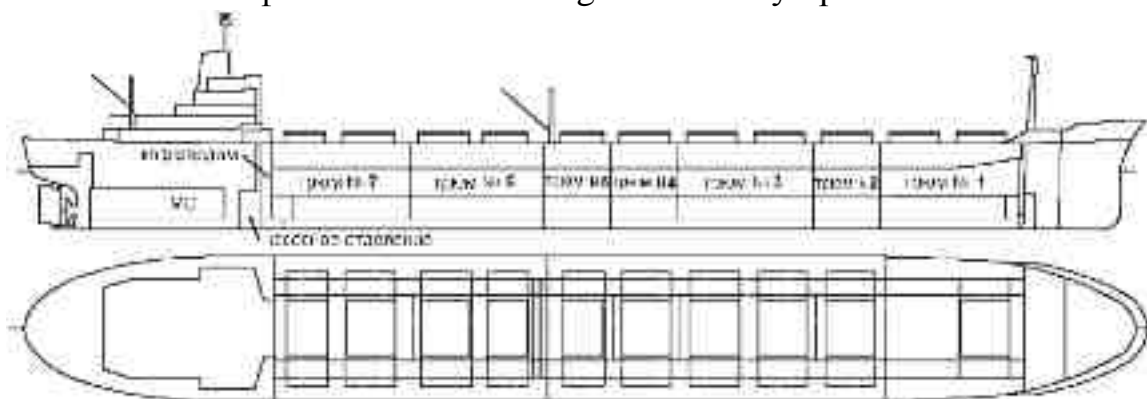
Рис. 4.25. Типовые мидель-шпангоуты комбинированных судов

Нефтерудовозы и нефтенавалочники должны иметь надёжные люковые закрытия, удерживающие жидкий груз и противостоящие его ударам при качке судна в шторм (рис. 4.26).

Размещение различных грузов на судне типа ОВО, обеспечивающее наибольшую грузоподъемность при обеспечении общей продольной прочности, представлено на рис. 4.27.



Рис. 4.26. Нефтенавалочник «Berge Phoenix» у причала /21/



Таблицы №	БЖД	нефть	уголь и зерно	нефть/балласт
1				
2				
4				
5				
6				
7				

Рис. 4.27. Судно типа ОВО и варианты его загрузки

5. СУДА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГЕНЕРАЛЬНЫХ ГРУЗОВ

5.1. Лесовозы

Наличие морских линий с устойчивыми перевозками лесных грузов вызвало выделение из общей группы сухогрузных судов специализированных судов-лесовозов.

Особенностью таких судов, вызванной большим удельным погрузочным объёмом лесного груза, является прием до 40 % перевозимого груза на палубу, что требует специальных мер по обеспечению остойчивости судна, существенного увеличения прочности палубы и закрытий люков, установки специальных устройств для крепления палубного груза, усиления фальшбортов.

Палубный груз лесовоза понижает его остойчивость до недопустимых пределов, поэтому приходится принимать балласт в цистерны двойного дна. У безбалластных в грузу лесовозов остойчивость обеспечивается увеличением относительной ширины по грузовой ватерлинии, уменьшением высоты палубного груза за счёт более широкой палубы.

Громоздкость лесных грузов и стремление к сокращению времени грузовых операций привело к большим размерам люков. Современные лесовозы относятся к типу судов с широким раскрытием палубы (открытых судов). Их особенностью является пониженная жёсткость корпуса и ослабление верхнего пояса эквивалентного бруса. Для обеспечения общей прочности и жёсткости корпуса используются различные средства: большие толщины палубного стрингера и ширстрека; подпалубные цистерны (рис. 5.1); двойные борта; непрерывные по длине судна продольные комингсы люков; прочные фальшборты, соединённые с ширстреком; спонсоны или развал бортов (рис. 5.2); продольная система набора палубы и верхней части борта.

Лесовозы могут перевозить груз в виде брёвен или пиленый лес в пакетах. Для удержания груза на палубе служат вертикальные стойки – стензели, закреплённые на усиленном фальшборте (рис. 5.3), а также охватывающие палубный груз сверху найтовы. Штормовые нагрузки могут вызвать разрушение креплений и срыв или смещение палубного груза. В результате судно может получить опасный крен и потерю остойчивости.

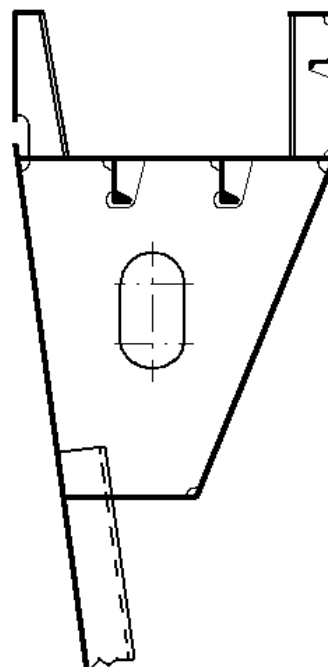


Рис. 5.1. Подпалубная цистерна на лесовозах типа «Игорь Грабарь»

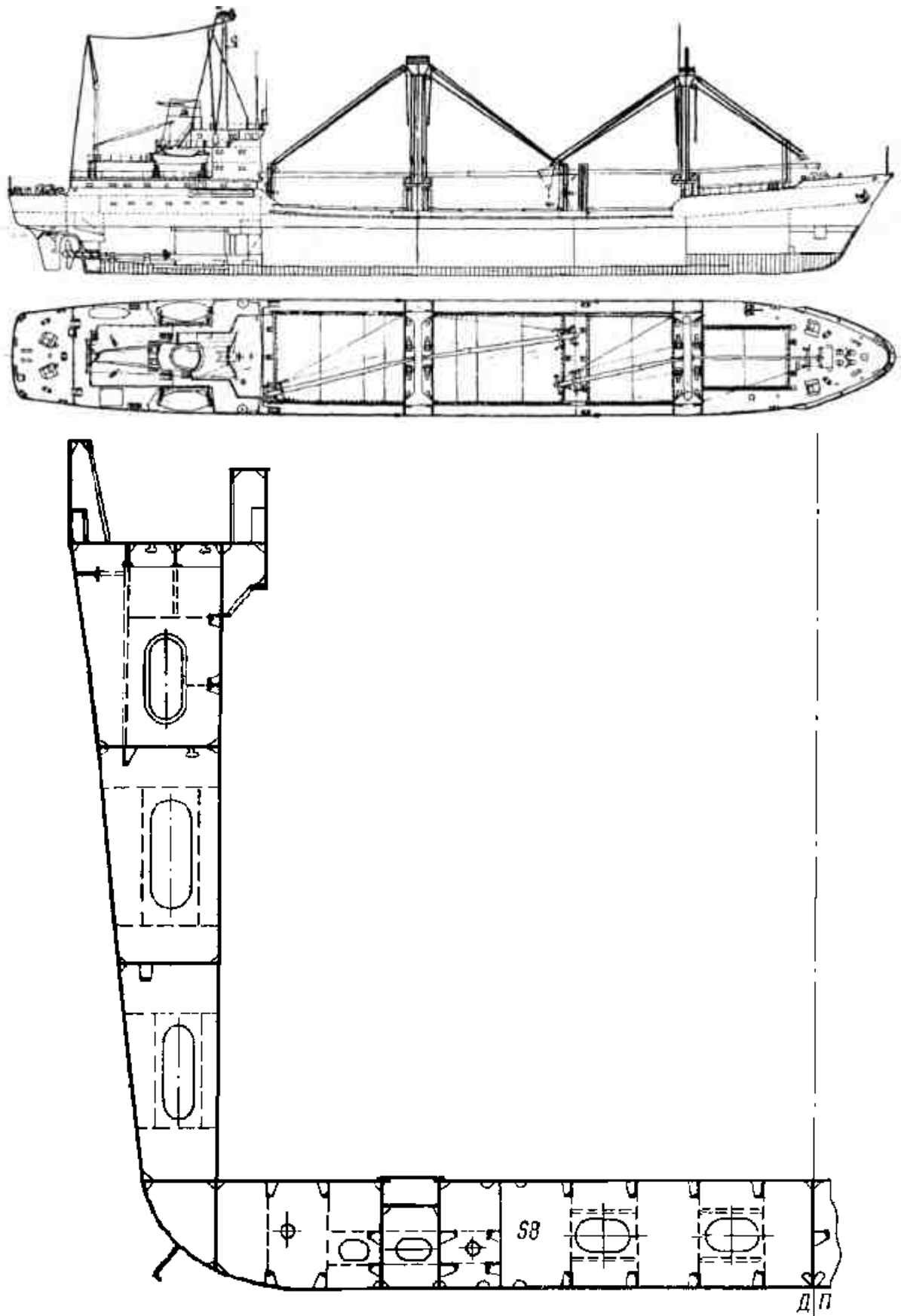


Рис. 5.2. Лесовоз «Пионер Москвы» с двойными бортами и развалом бортов

При перевозке пиленого леса его желательно укрывать от воды. В этом случае груз находится полностью в трюмах под люковыми закрытиями, а для повышения вместимости трюмов применяются высокие комингсы (рис. 5.4).

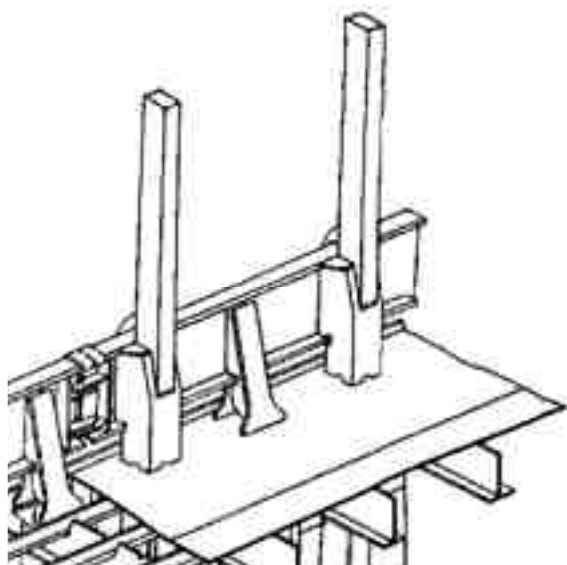


Рис. 5.3. Стензели

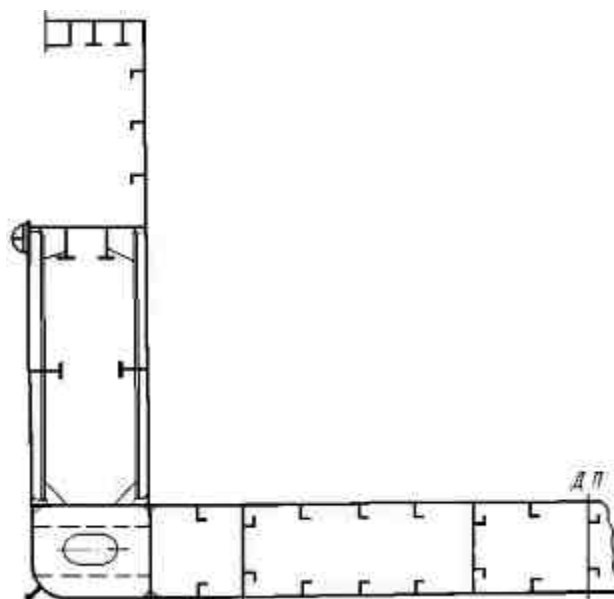


Рис. 5.4. Пакетовоз с высокими комингсами

Крайне нежелательны конструкции, выступающие за общие габариты набора, например, рамные шпангоуты, так как нагрузка от брёвен на борт в этом случае не распределена по длине, а сосредоточена (рис. 5.5). Поэтому на лесовозах применяются борты с однородной системой набора или двойные борты.

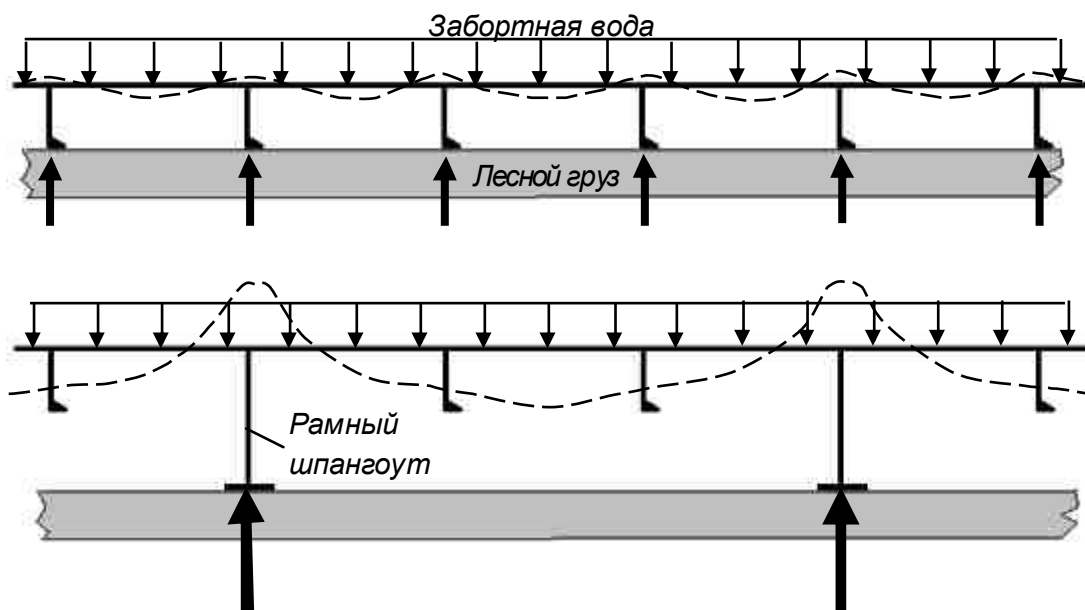


Рис. 5.5. Характер нагрузки на борт и его деформация при однородной и неоднородной системах набора

Выступающие бортовые стрингеры и карлингсы мешают грузовым операциям и могут быть погнуты от ударов лесного груза при погрузке или выгрузке. По этой же причине в трюме лесовозов не применяются пиллерсы.

5.2. Контейнеровозы

Суда – контейнеровозы предназначены для перевозки грузов в контейнерах. Контейнерные перевозки начали интенсивно развиваться после введения в 1964 г. Международной организацией по стандартизации (ISO) стандарта на размеры контейнеров. Появилась возможность проектировать

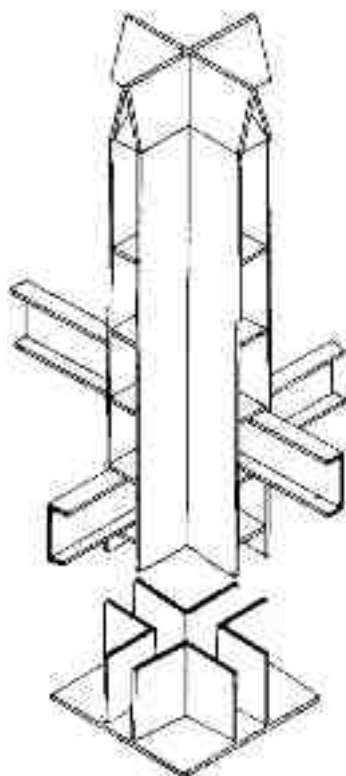


Рис. 5.6. Направляющие для контейнеров /1/

размеры и конструкцию корпуса судна под конкретные контейнеры. Нагрузка от контейнера сосредоточена по его опорам (в углах, которые фиксируются специальными направляющими стойками – рис. 5.6), поэтому эти точки должны располагаться над районами пересечения рамных связей корпуса (флоров и днищевых стрингеров). Исходя из этого требования, выбираются шпации корпуса.

Несмотря на потери на перевозку самих контейнеров, провозная способность контейнеровоза в два раза выше провозной способности обычного сухогрузного судна, в первую очередь, из-за сокращения времени стоянки судна под грузообработкой. С постройкой специальных контейнерных терминалов в портах производительность труда увеличилась в 8 – 10 раз. Если до середины XX в. все генеральные грузы перевозились универсальными сухогрузами, то в настоящее время основная масса таких грузов перевозится в контейнерах. Классические морские сухогрузы постепенно уходят в историю.

Существует два основных типа контейнеровозов (рис. 5.7): для местных перевозок (так называемые фидерные – рис. 5.8) и океанского плавания большой контейнероёмкости (более тысячи контейнеров – рис. 5.9, 5.10). По мере развития контейнеровозов наблюдается тенденция роста их вместимости. Некоторые суда по размерам приближаются к крупнотоннажным танкерам и балкерам, а вместимость их достигает 8 тыс. контейнеров.

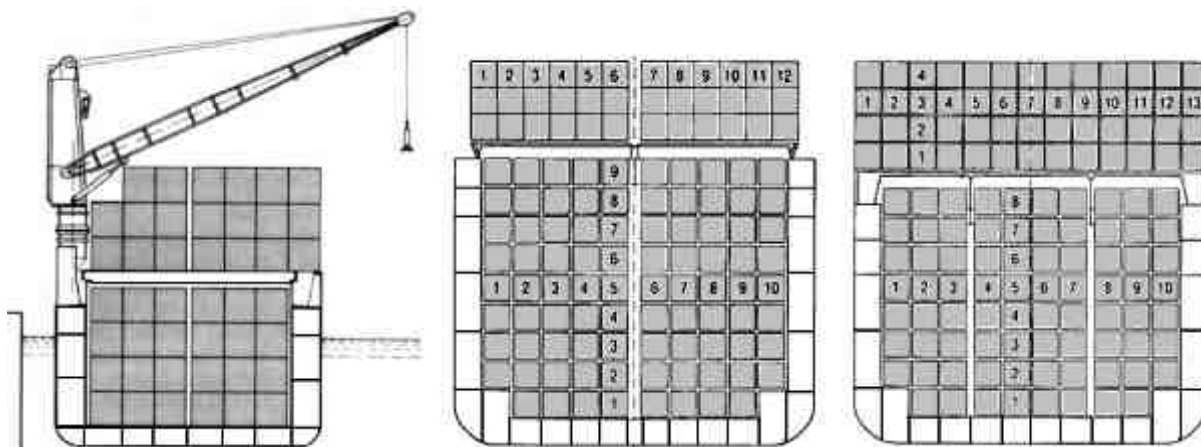


Рис. 5.7. Схема расположения контейнеров на контейнеровозах:
 а – фидерном, оборудованном кранами; б – океанском, постройки
 70-х годов; в – океанском современной постройки

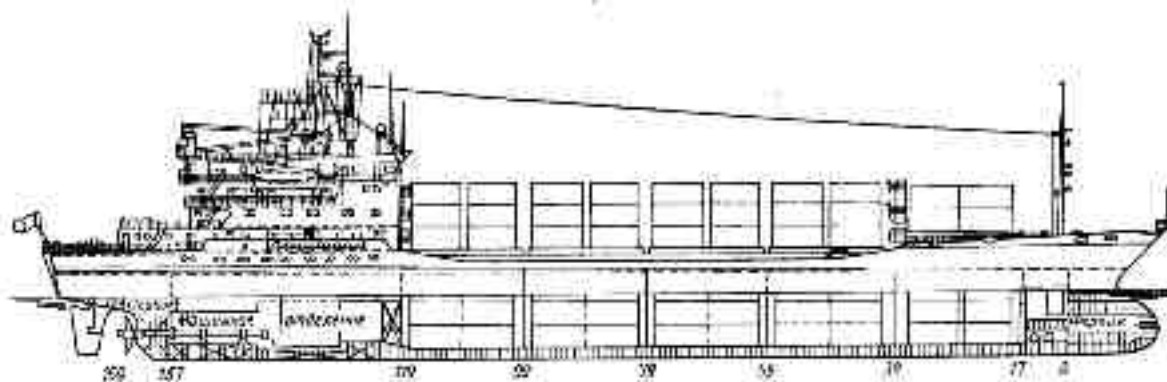


Рис. 5.8. Контейнеровоз «Александр Фадеев» (после модернизации)

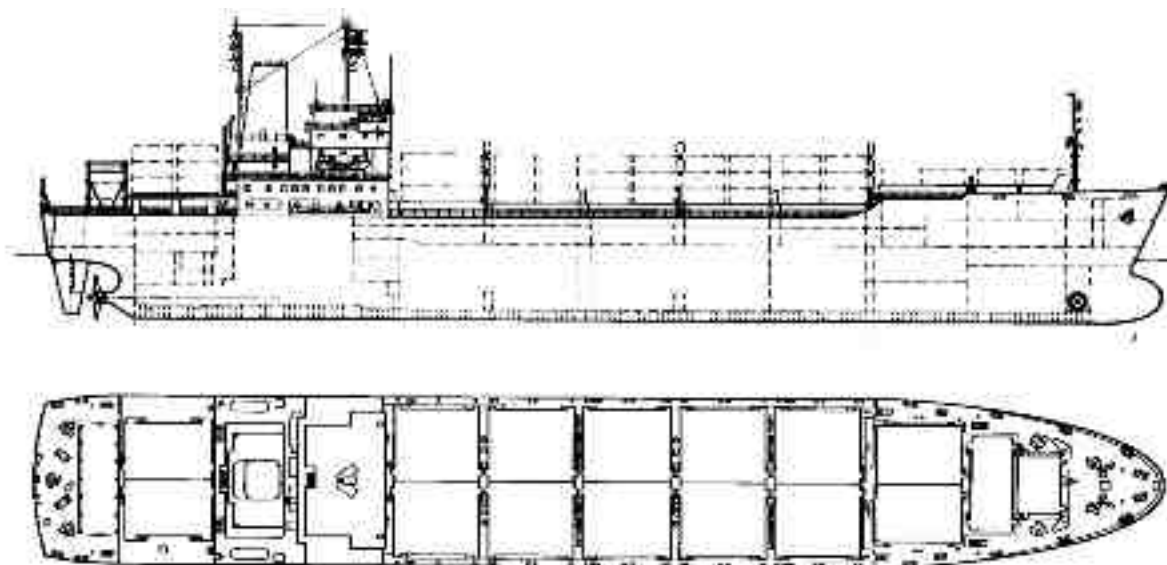


Рис. 5.9. Контейнеровоз «Капитан Гаврилов»

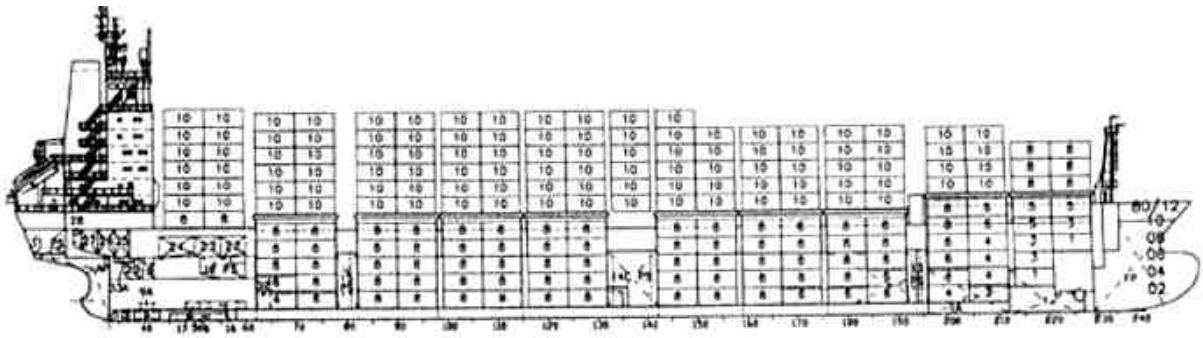


Рис. 5.10. Контейнеровоз типа «Владивосток»

Современные контейнеровозы характеризуются полным раскрытием палубы, наличием специальных ячеистых конструкций для фиксации контейнеров, острыми обводами корпуса и большой долей груза (до 60 %), перевозимого на палубе.

Для обеспечения общей прочности и жёсткости корпуса применяются большие толщины палубного стрингера, двойные борта, непрерывные продольные комингсы люков, продольная система набора палубы и верхней части борта.

Для повышения эффективности эксплуатации контейнеровозов увеличивают количество ярусов контейнеров на палубе (до восьми, в проектах – до девяти). В результате возникают большие нагрузки на люковые закрытия, а при качке судна – боковые нагрузки, которые могут привести к разрушению креплений и срыву контейнеров за борт (при укладке более шести ярусов контейнеров опасным может быть шторм в 6 баллов).

Для фиксации контейнеров на палубе используют найтовы, а в последнее время – более надёжные ячеистые конструкции, несущие вертикальные направляющие стойки для палубных контейнеров (рис. 5.11).

В последние годы появились большие контейнеровозы без люковых закрытий, у которых направляющие продолжают из трюма и возвышаются над палубой, что позволяет увеличить вместимость судов и сократить время грузовых операций. Такие суда снабжены мощными насосами для осушения открытых трюмов при их заливании в шторм или в дождь (рис. 5.13).

На рис. 5.12 – 5.16 приведены примеры конструкций контейнеровозов.

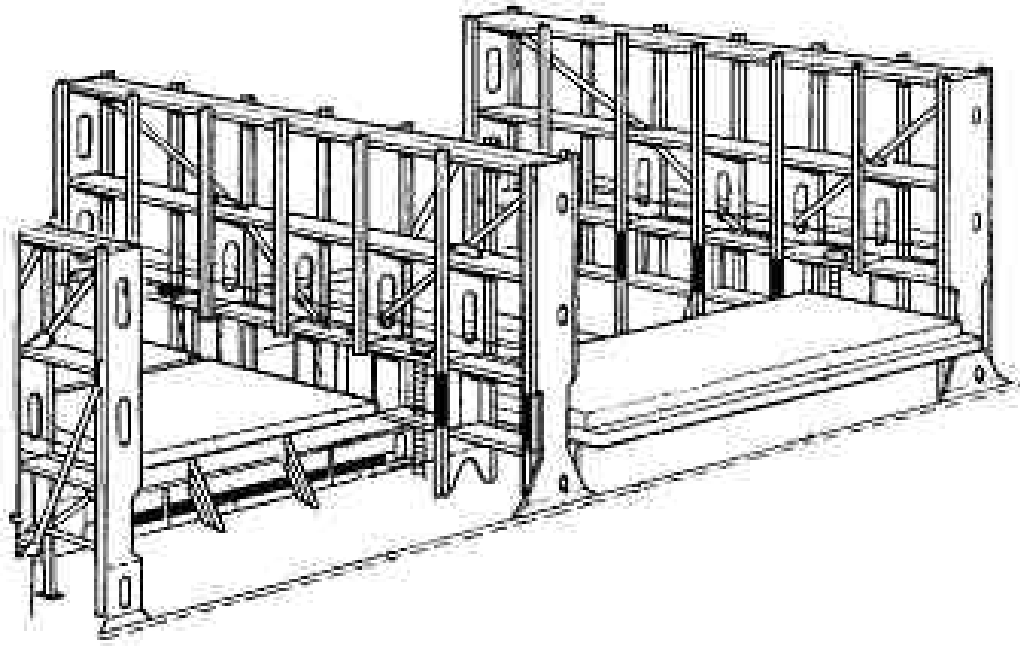


Рис. 5.11. Палубная ячейка со съёмными частями направляющих¹

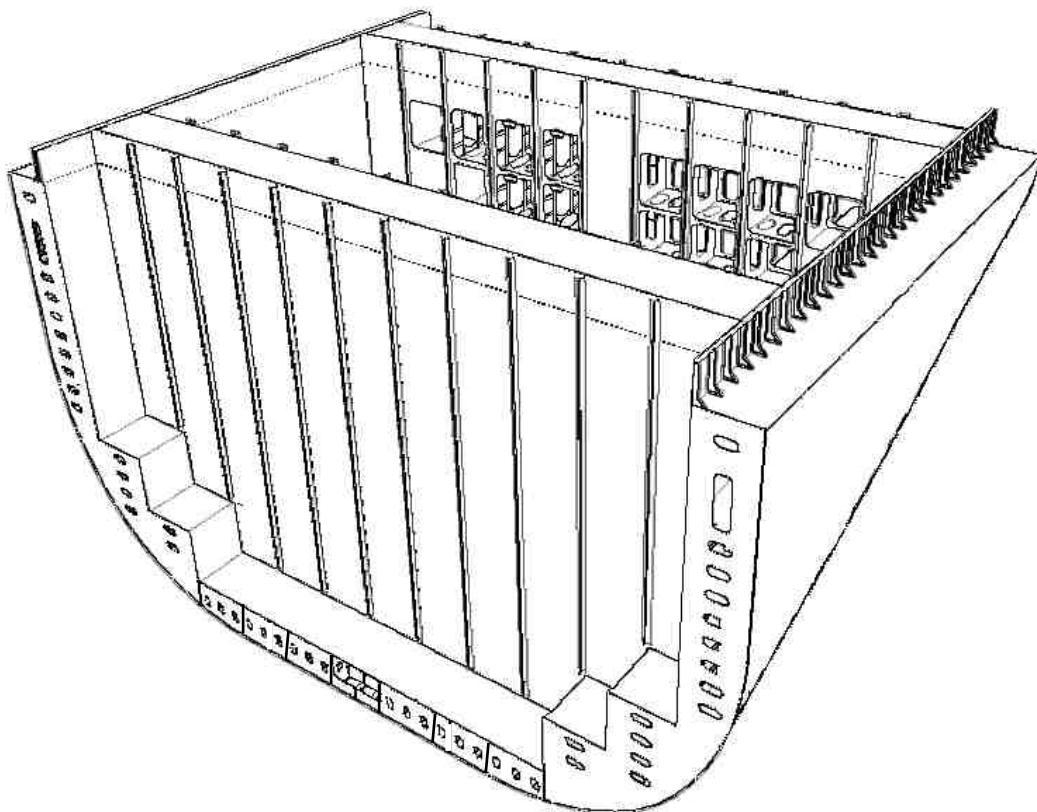


Рис. 5.12. Средняя часть контейнерова

¹ Рис. 5.8 – 5.11 автору любезно предоставил А. Д. Бурменский

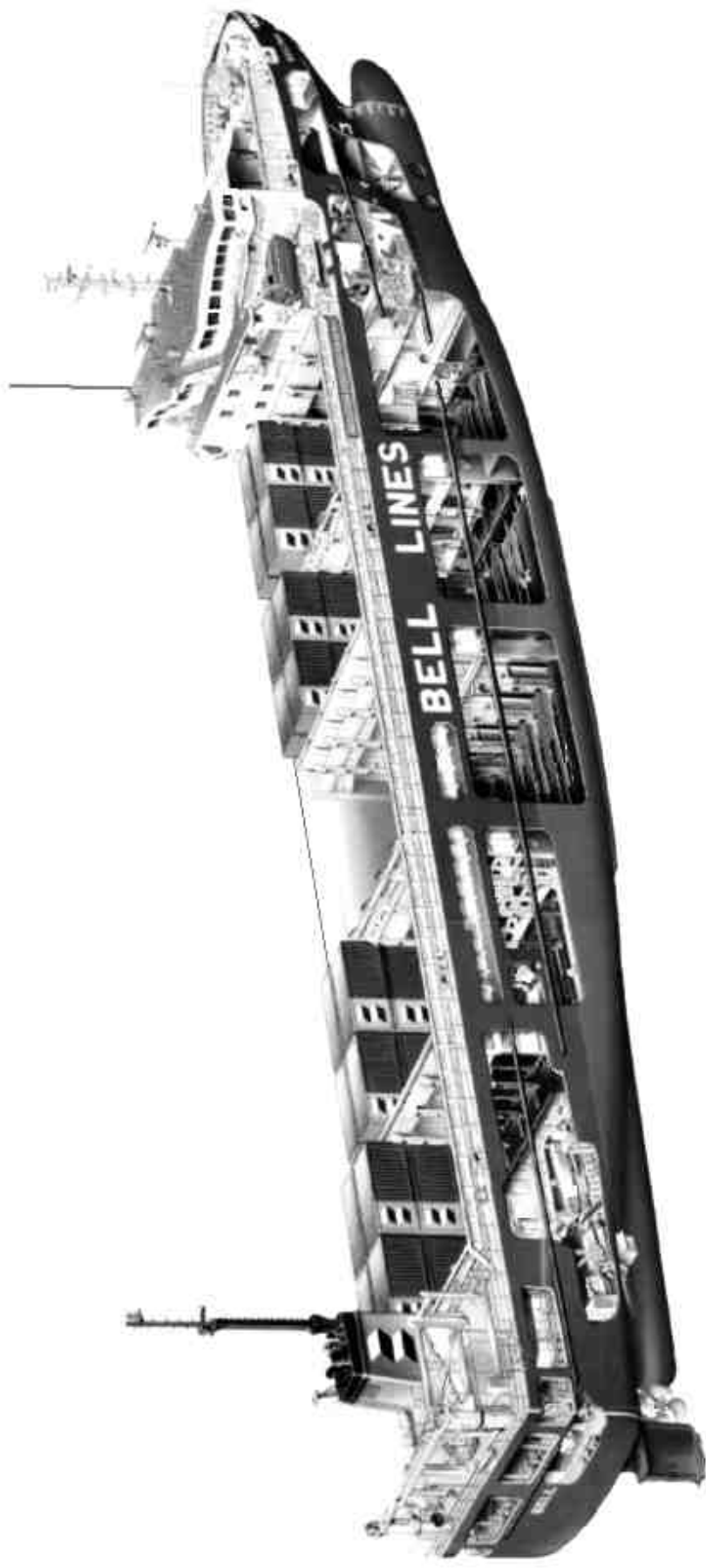


Рис. 5.13. Безлоковый контейнеровоз "Bell Group"

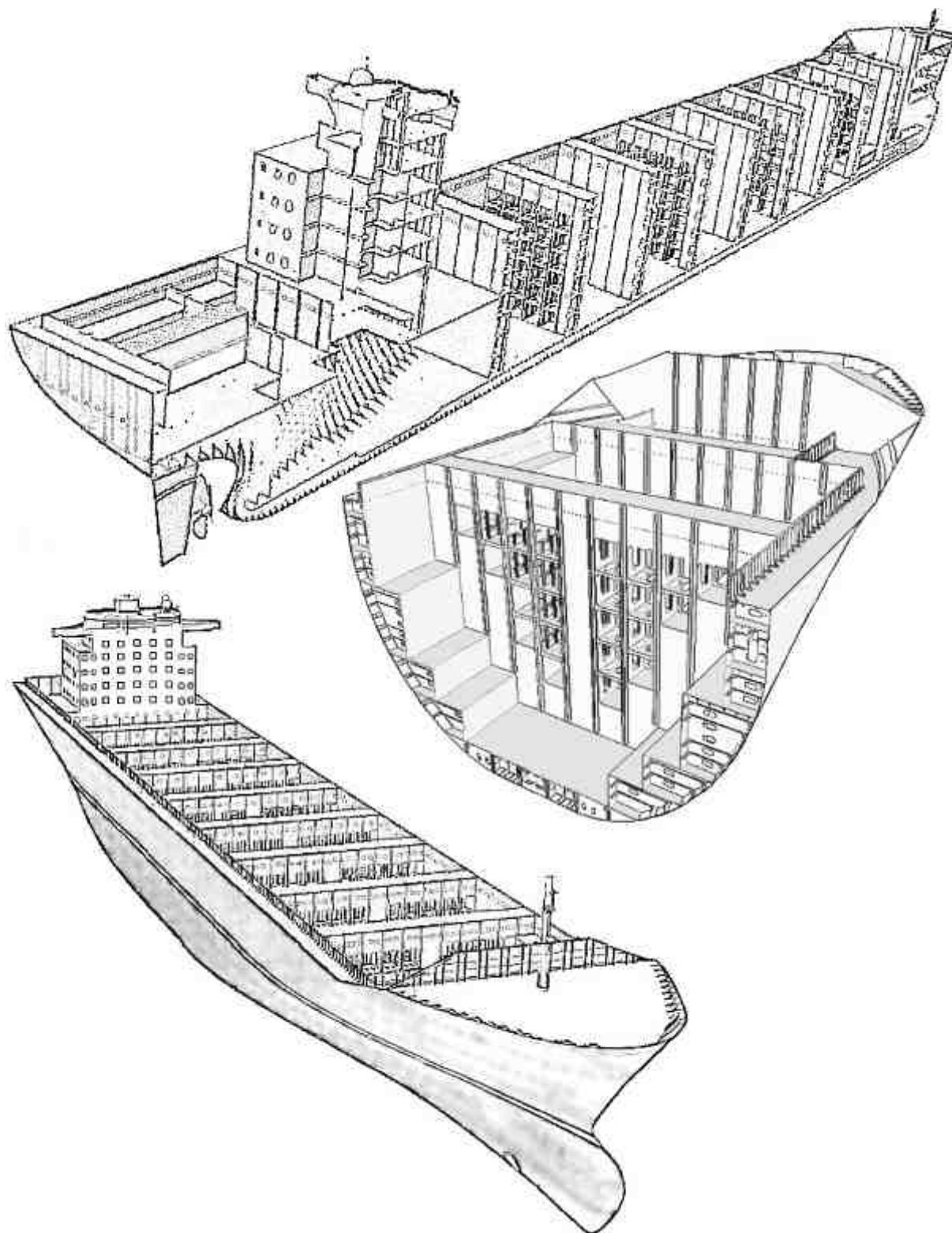


Рис. 5.14. Корпус контейнеровоза /24/

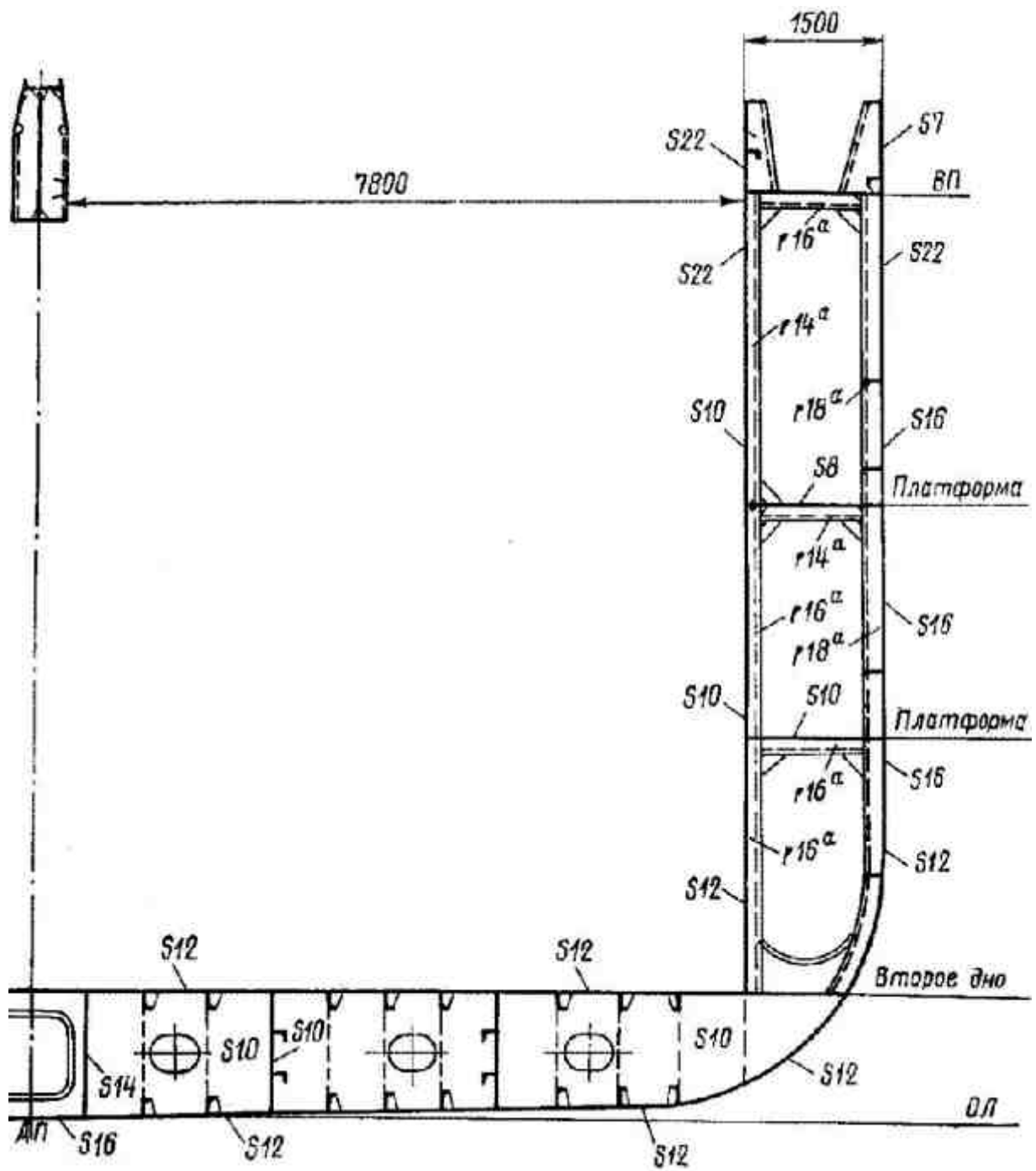


Рис. 5.15. Мидель-шпангоут контейнеровоза «Александр Фадеев» /13/

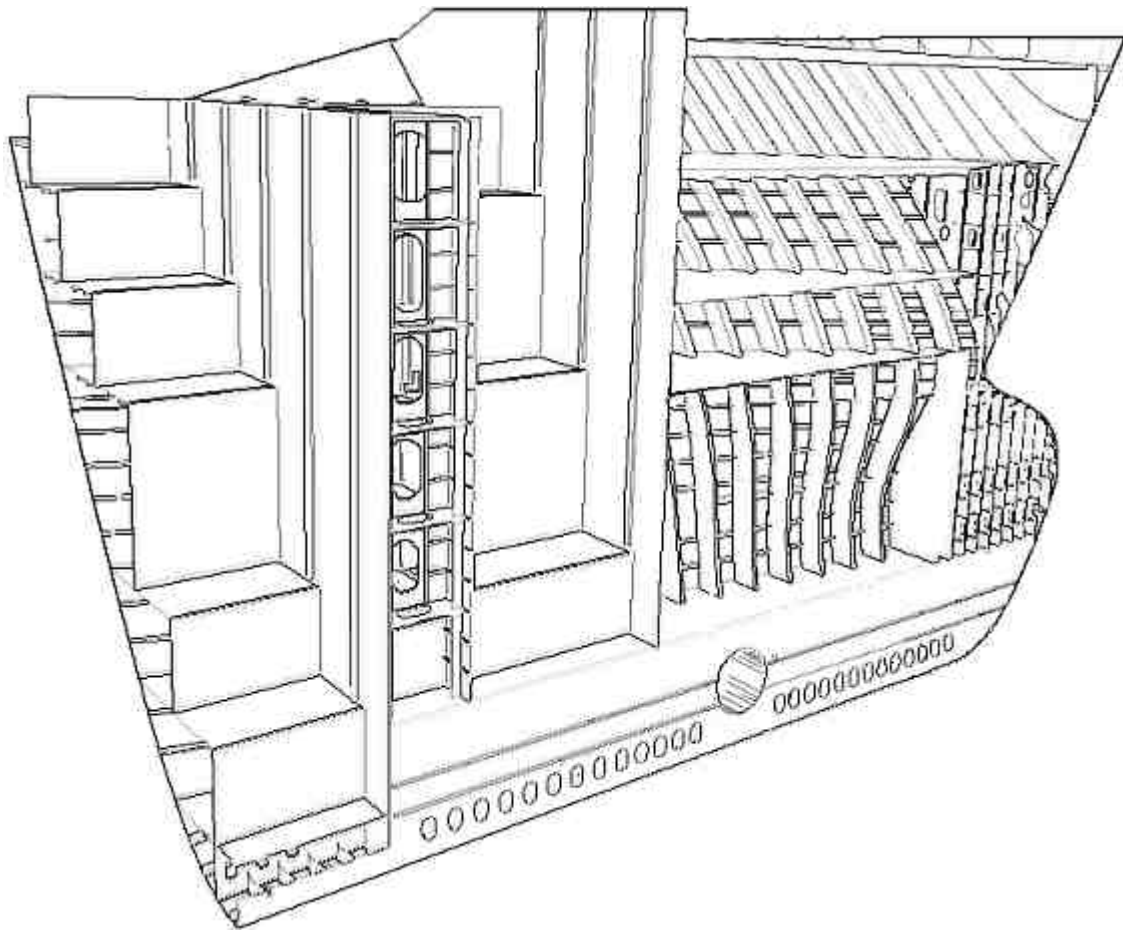


Рис. 5.16. Носовая оконечность и средняя часть контейнеровоза

5.3. Накатные суда

Накатные суда называют по-разному: суда с горизонтальной грузообработкой (СГГ), суда типа Ro-Ro (от «roll on / roll off» – вкатывать/выкатывать) или просто ролкеры. Это суда, погрузка и разгрузка которых осуществляется преимущественно или исключительно через ворота – лацпорты в оконечностях или бортах по сходням, которые называются аппарелями или рампами (рис. 5.17, 5.18). Перевозят эти суда автомобили, трейлеры, вагоны и т.п. – то есть грузы на колёсах. Распространены грузопассажирские суда (паромы – рис. 5.19, 5.20), а также контейнеровозы – ролкеры (типа «Con-Ro» – рис. 5.21).

Ролкеры имеют много палуб, как правило, сплошных (без люков для вертикальной грузообработки), однако с вырезами и наклонными съездами – пандусами или лифтами для перемещения между палубами (рис. 5.22). Необходимость более полного использования площади палуб для размещения колесных грузов и свободы маневра требует отказа от поперечных

переборок и других конструкций, препятствующих размещению и передвижению внутри корпуса.

Отсутствие переборок может привести к быстрому затоплению судна. Самые известные и трагические катастрофы паромов, это гибель Princess Victoria (1953 год, 132 человека погибли), Тоуа Мару (1954 год, 1178 человека погибли), Herald of Free Enterprise (1987 год, 193 человека погибли), и Estonia (1994 год, 750 человек погибли). Все четыре случая связывает одна общая главная причина гибели – затопление. Для обеспечения непотопляемости на ролкерах применяются двойные борты (обычно до уровня главной палубы), но в упомянутых катастрофах вода поступала в основном через негерметичные палубы и носовые ворота.

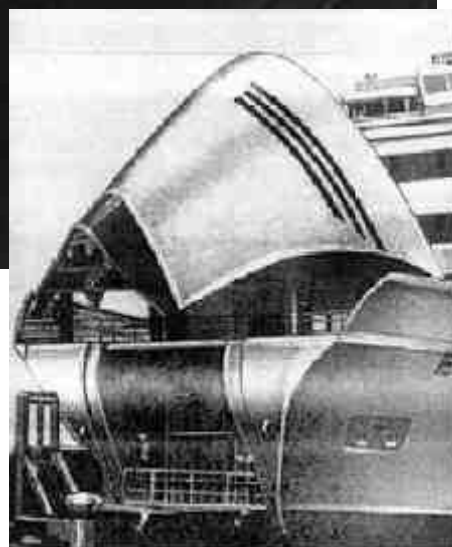
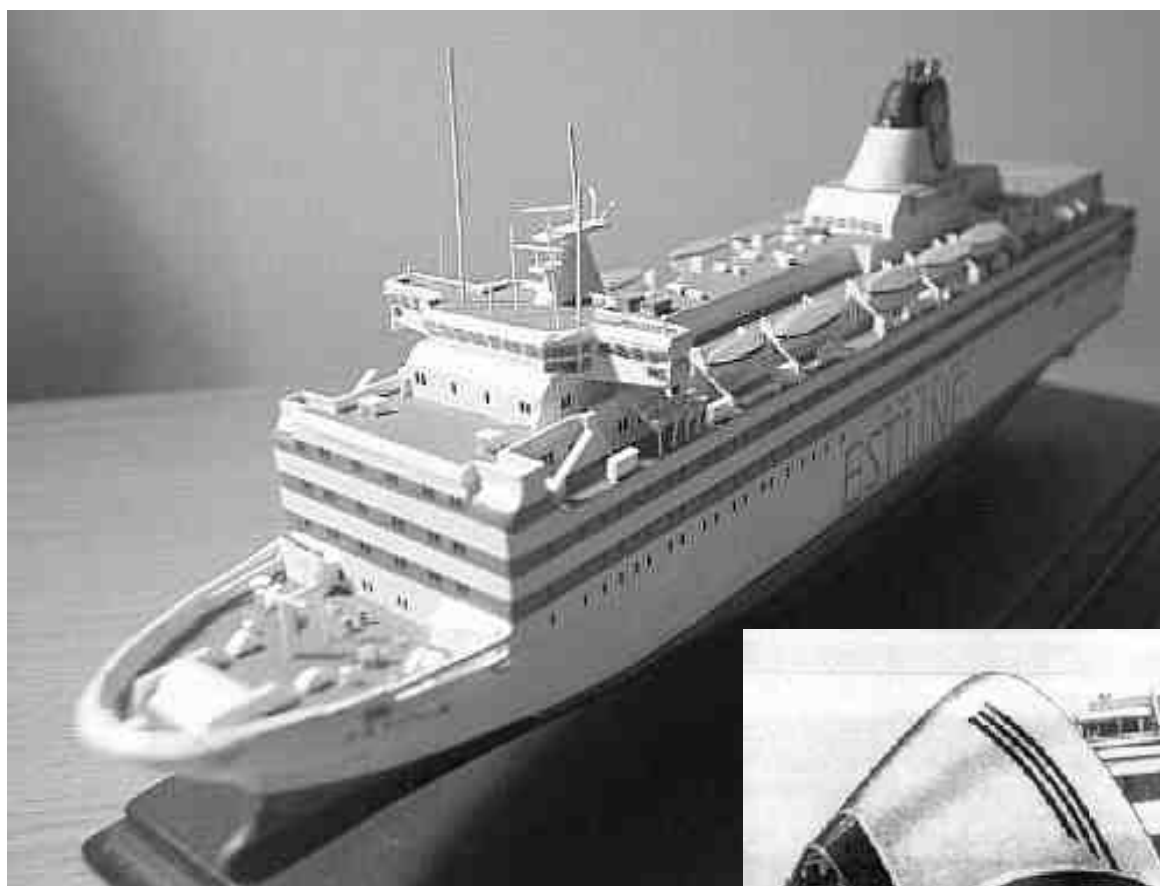


Рис. 5.17. Паром «Эстония»
и его носовые ворота

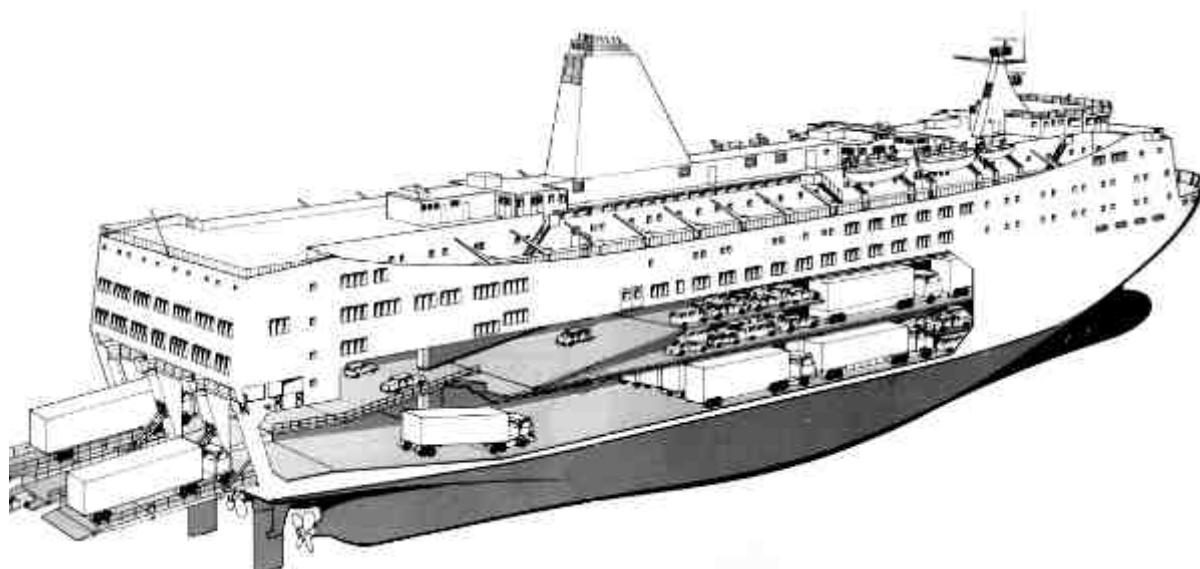


Рис. 5.18. Автомобильно-пассажирский паром «Kronprincessa Victoria»

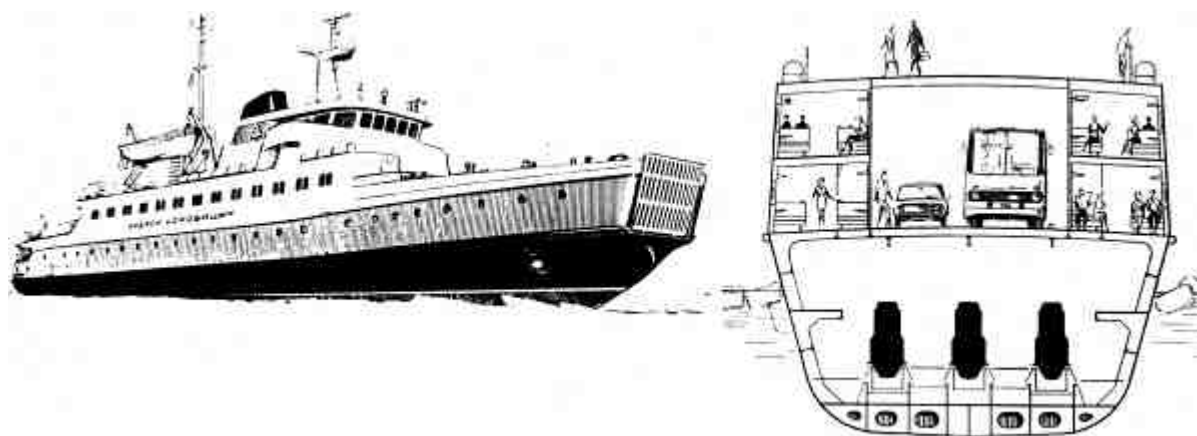


Рис. 5.19. Автомобильно-пассажирский паром «Андрей Коробицын»

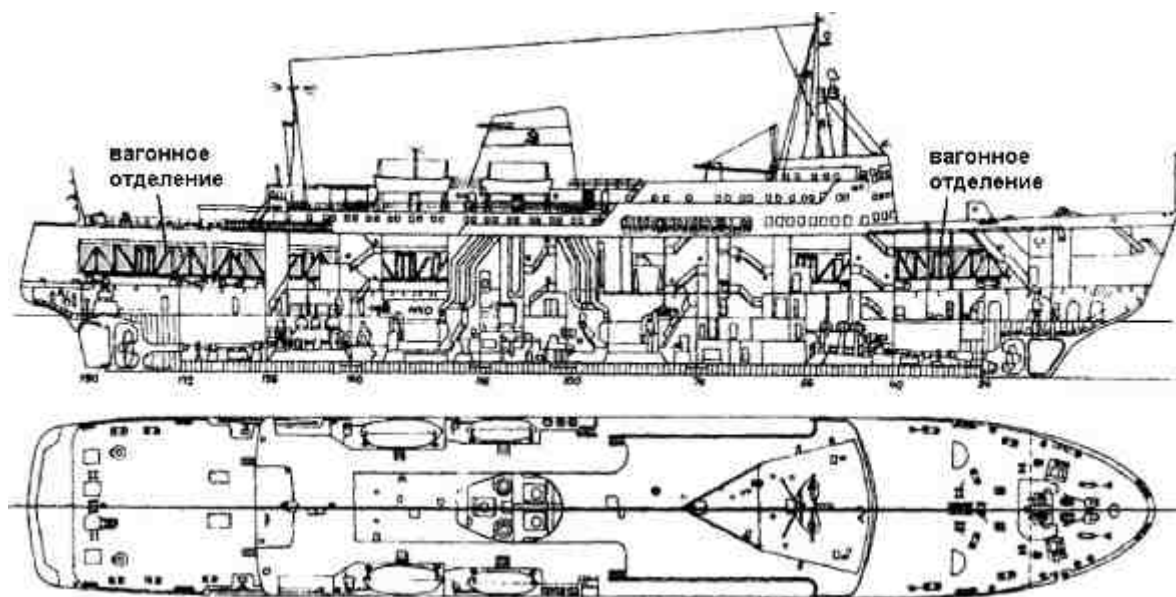


Рис. 5.20. Железнодорожно-пассажирский паром «Сахалин»

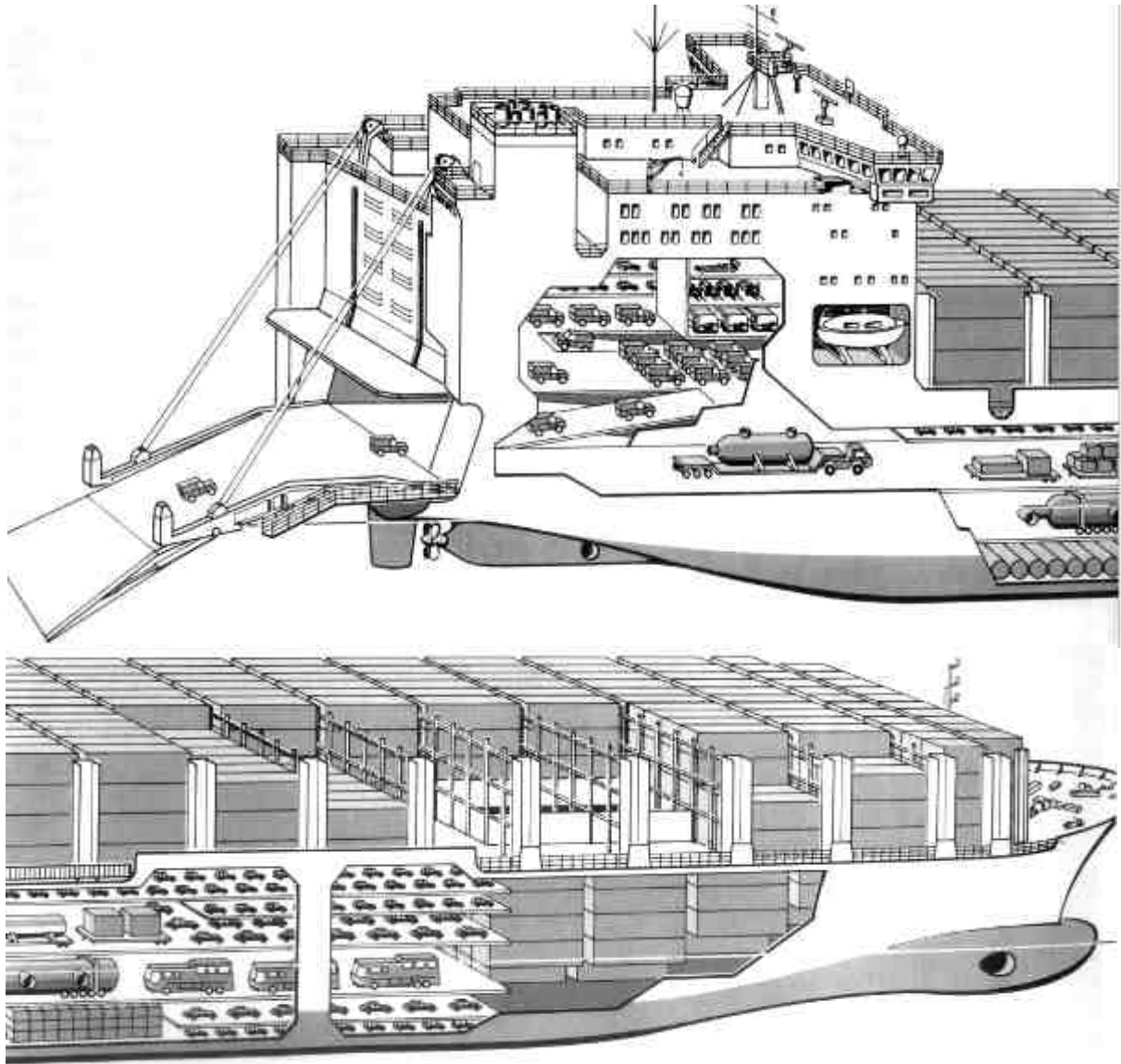


Рис. 5.21. Контейнерно-накатное судно «Atlantic Companion»

Отсутствие поперечных переборок на накатных судах приводит к проблемам с обеспечением их жёсткости и прочности на действие поперечных и крутящих нагрузок, которые частично решаются применением двойных бортов. Прочность палуб, не опирающихся на переборки, обеспечивается рамными бимсами.

Для уменьшения пролёта рамных бимсов при большой ширине палуб могут устанавливаться промежуточные опоры в виде одного – трёх карлингсов, поддерживаемых рядами пиллерсов. Однако пиллерсы мешают движению по палубам, поэтому их количество не должно быть большим.

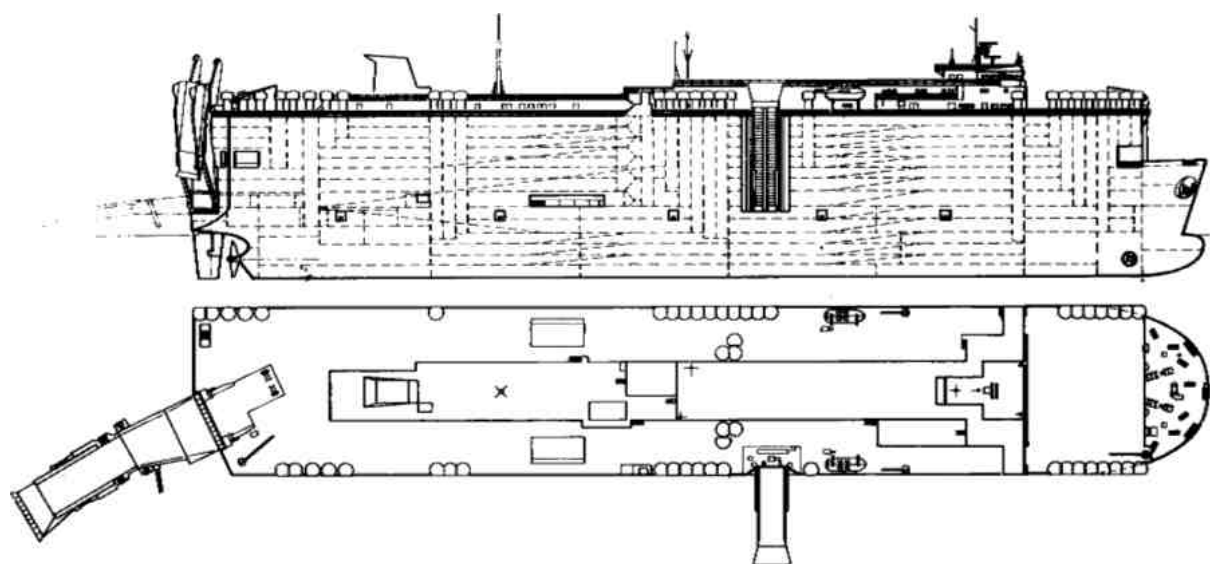


Рис. 5.22. Паром «Madame Butterfly»

Система набора палуб – продольная (рис. 5.23). Это объясняется не столько необходимостью обеспечения общей продольной прочности (на обычных сухогрузах нижние палубы обычно имеют поперечную систему набора), сколько характером нагрузки от колёс – она близка к сосредоточенным усилиям, динамически изменяющимся вдоль судна.

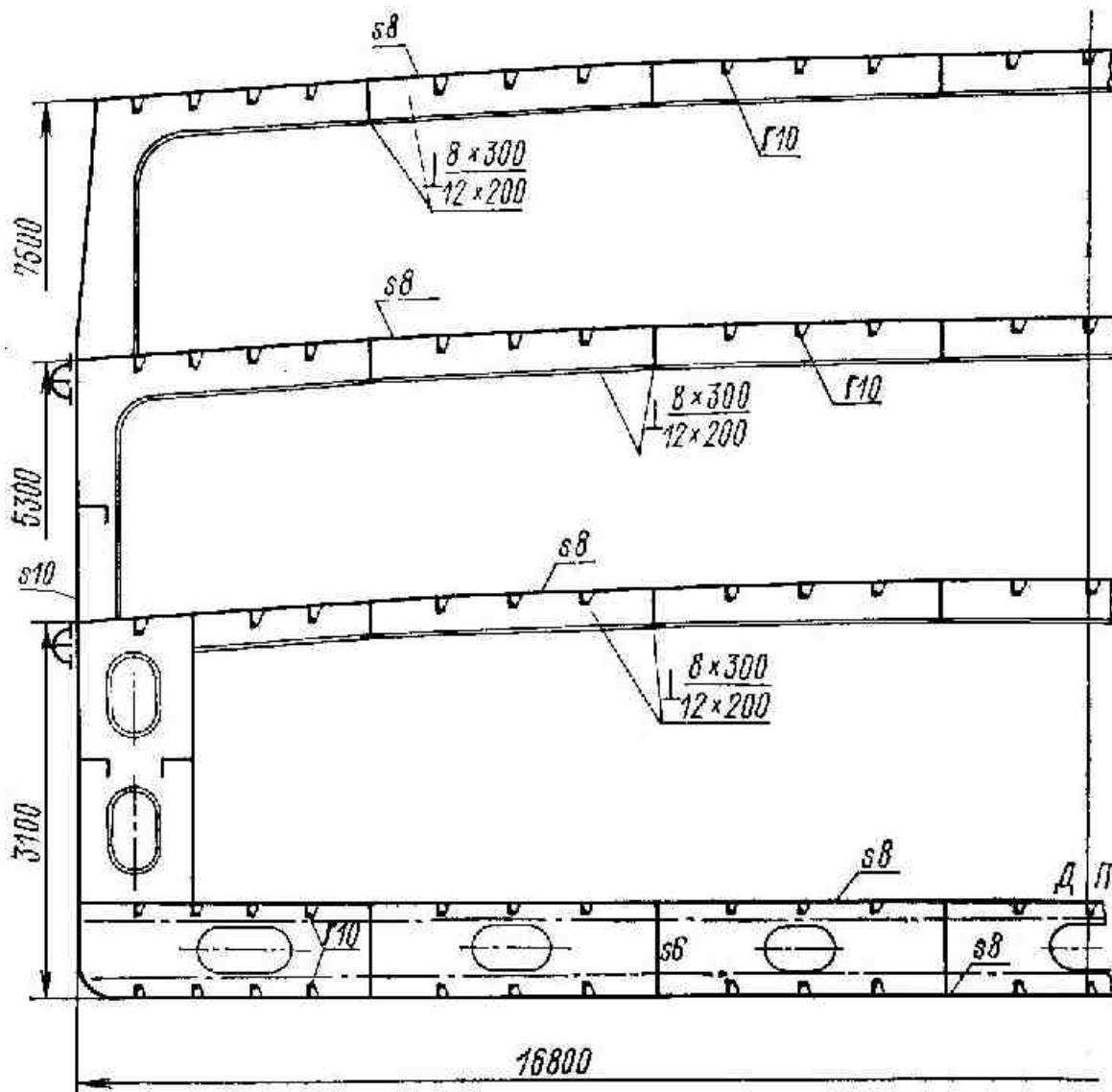


Рис. 5.23. Мидель-шпангоут речного судна для перевозки легковых автомобилей /16/

5.4. Лихтеровозы

Суда – лихтеровозы (баржевозы) появились в 60-х годах XX в. Они предназначены для перевозки мелкосидящих речных барж (лихтеров) и погрузки-выгрузки их на рейде (рис. 5.24). Транспортные системы на основе лихтеровозов удобны при смешанных перевозках по морским и речным путям, так как крупные морские суда не могут пройти по рекам, а суда внутреннего и смешанного плавания не годятся для океанских переходов.

Преимуществами подобной системы перевозок являются:

- исключение перегрузочных операций, ведущее к серьезной экономии времени доставки грузов и транспортных расходов на перевозку грузов по внутренним водным путям;
- повышение качества доставки грузов по системе «от двери до двери»;
- разгрузка портовых мощностей, уменьшение капиталовложений на портовое оборудование;

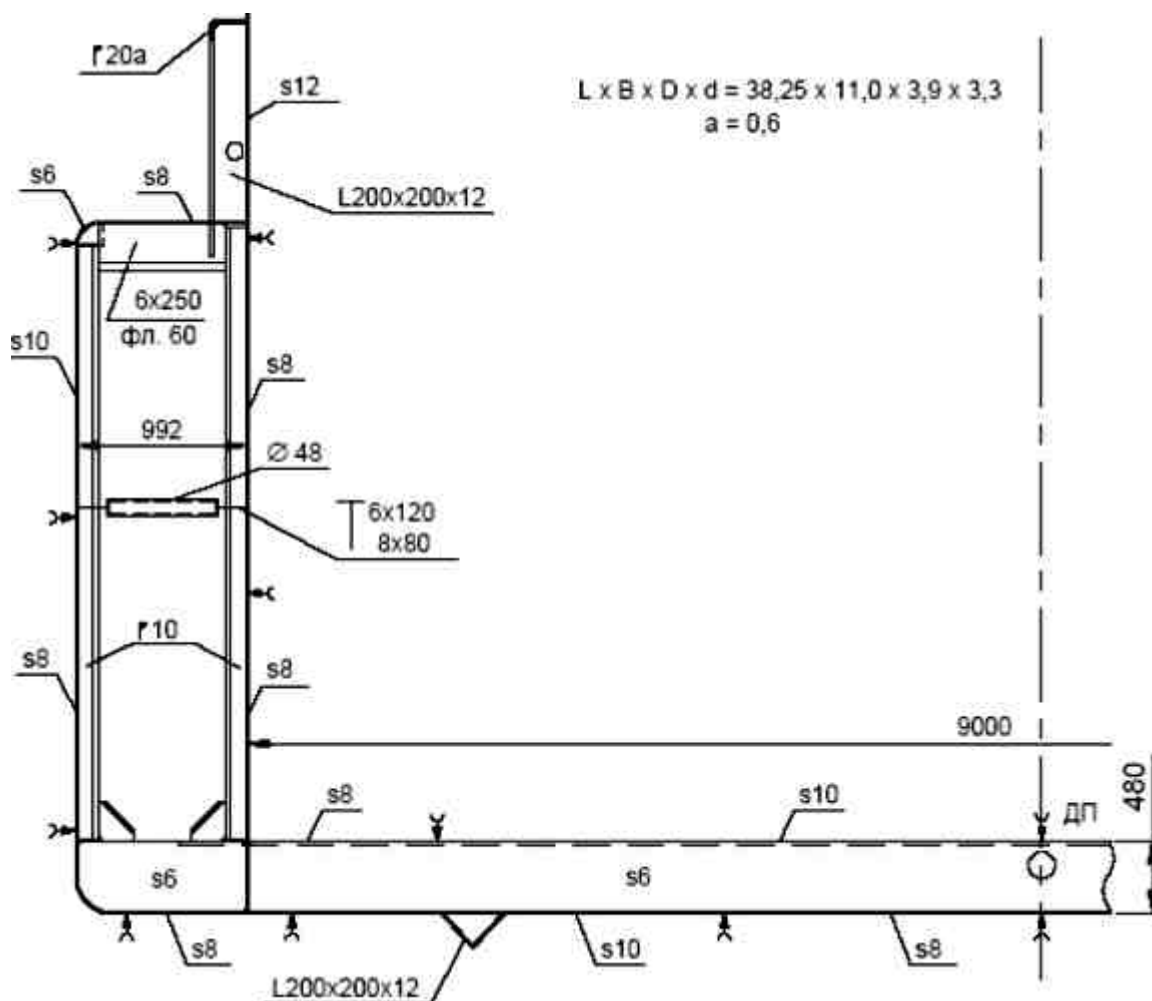


Рис. 5.24. Мидель-шпангоут сухогрузного лихтера

Существует три основных типа лихтеровозов: LASH (Lighter Aboard Ship – лихтер на борту судна); Seabee (морская пчела); BACat (Barge Aboard Catamaran – баржа на борту катамарана).

У судов системы LASH лихтеры загружаются и выгружаются козловым краном, который может перемещаться по рельсовым путям по всей длине грузовой части судна и заводиться над водой по выступающим кормовым консолям (рис. 5.25, а);

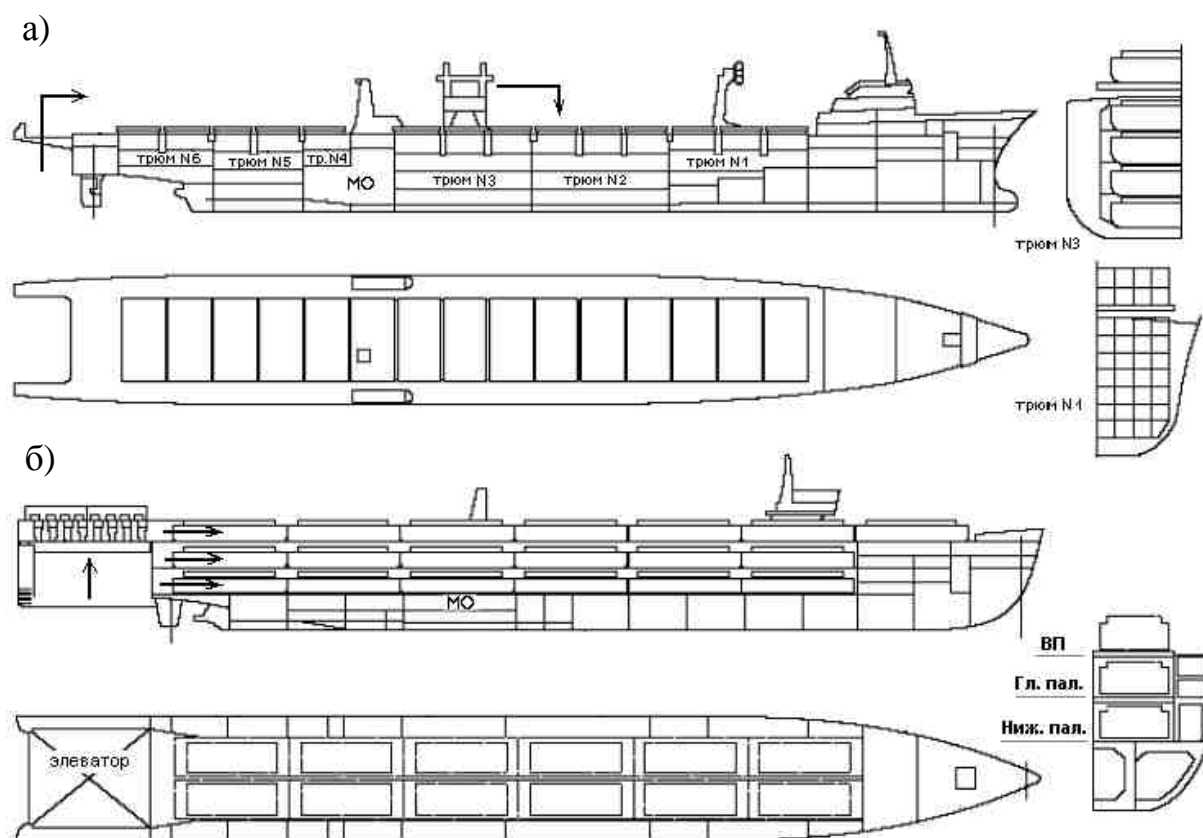


Рис. 5.25. Основные типы лихтеровозов: а – LASH; б – Seabee

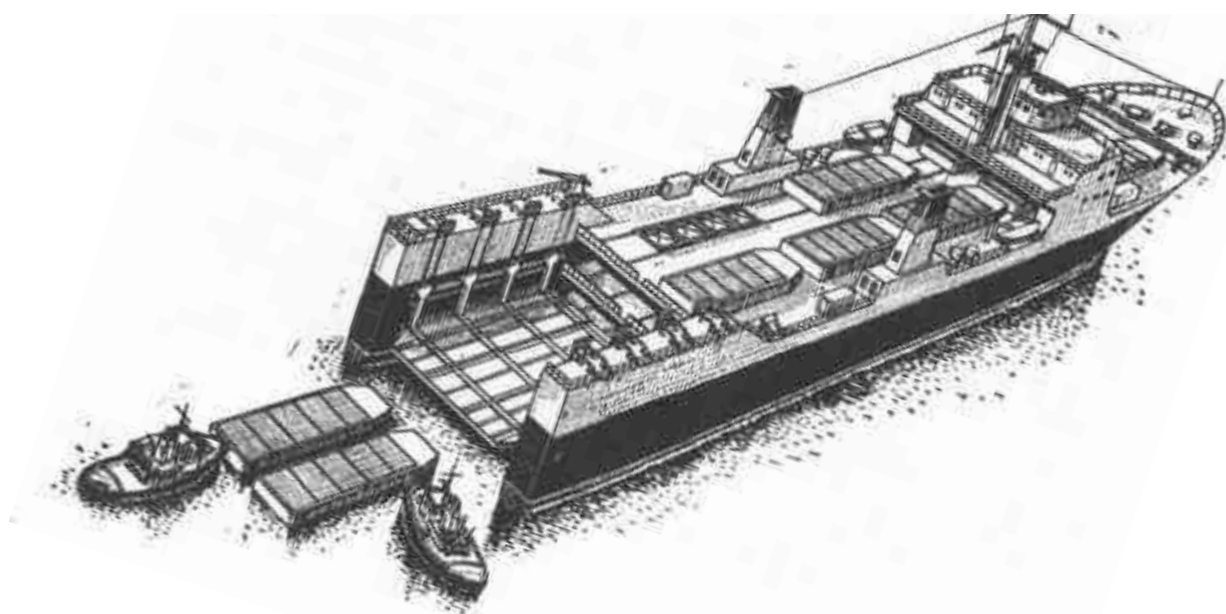


Рис. 5.26. Лихтеровоз «Сибирь»

Система Seabee предполагает погрузку – выгрузку барж с кормы с помощью специального понтона – элеватора, поднимающего баржи до уровня соответствующей палубы с последующим откатом на тележках вдоль судна (рис. 5.25, б и 5.26).

Судно системы VAScat представляет собой однокорпусную конструкцию в носовой части и двухкорпусную грузовую часть. Лихтеры могут заводиться под палубу судна и закрепляться между корпусами, а также подниматься на палубу.

На рис. 5.27 представлена конструкция корпуса отечественного лихтеровоза «Севморпуть».

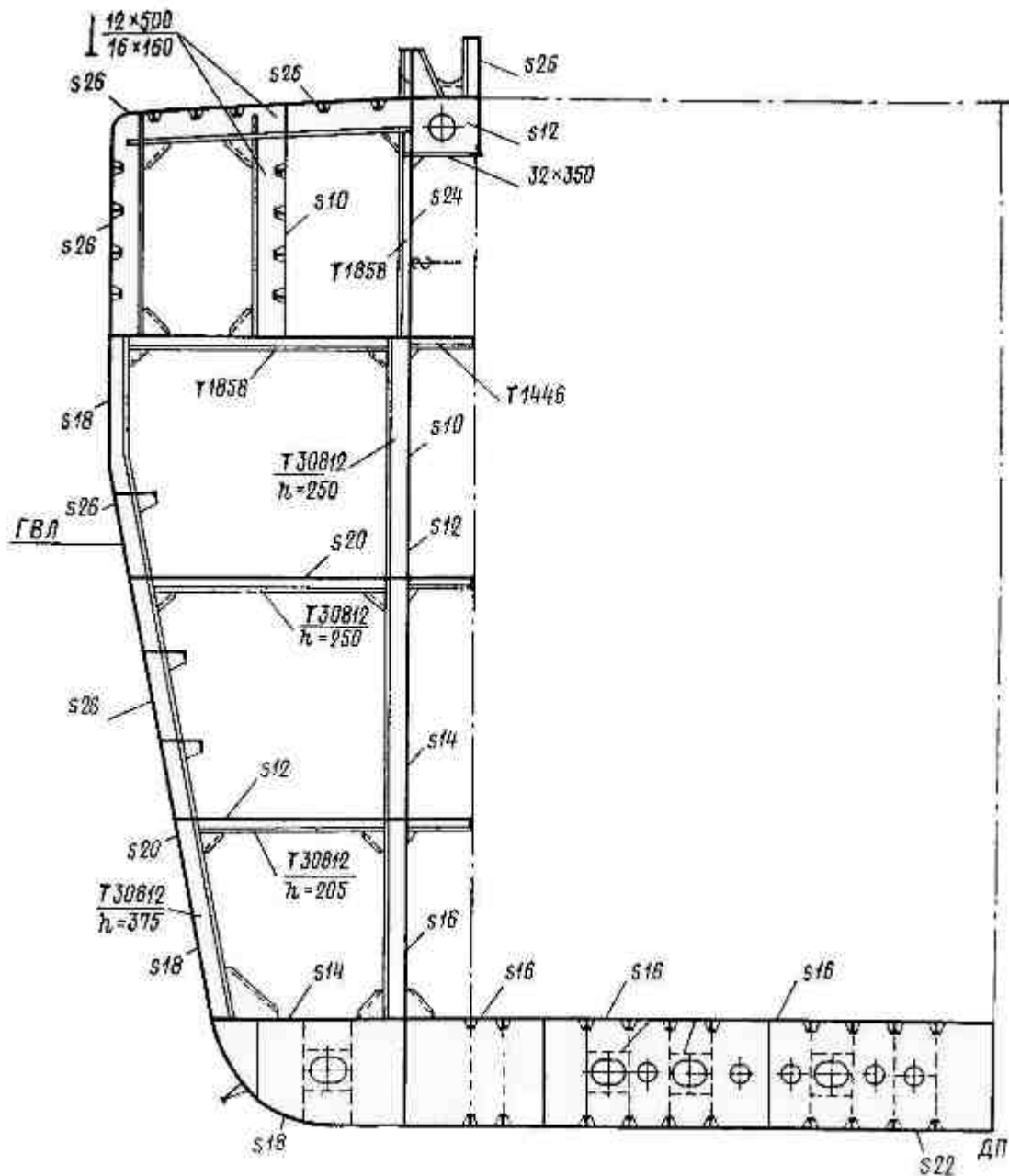


Рис. 5.27. Мидель-шпангоут атомного лихтеровоза «Севморпуть» /13/

5.5. Суда для перевозки крупногабаритных грузов

Существует два основных типа судов для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов (СКГТ). Первый можно отнести к типу судов с горизонтальной грузообработкой. Иногда их называют суда типа Ro-Flow (рис. 5.28). Суда такого типа имеют надстройку в носу, а большая часть корпуса в плане напоминает конструкцию плавучего дока (двойное дно и две башни) с кормовыми воротами. Груз заводят через кормовые ворота на понтоне, предварительно притопив судно. Возможна погрузка с помощью кранов, перемещающихся вдоль башен (рис. 5.29), или накатом на специальных тележках. Такие суда часто перевозят и лихтеры, поэтому их называют лихтеровозами.

СКГТ второго типа имеют надстройку в носу и располагающуюся за ней площадку (рис. 5.30). Они часто используются для транспортировки буровых платформ, поэтому иногда называются платформовозами. В притопленном положении перед наводкой платформы из воды виднеется только носовая часть с надстройкой. После размещения платформы над грузовой площадкой осушаются балластные цистерны судна и оно всплывает, поднимая груз над водой.

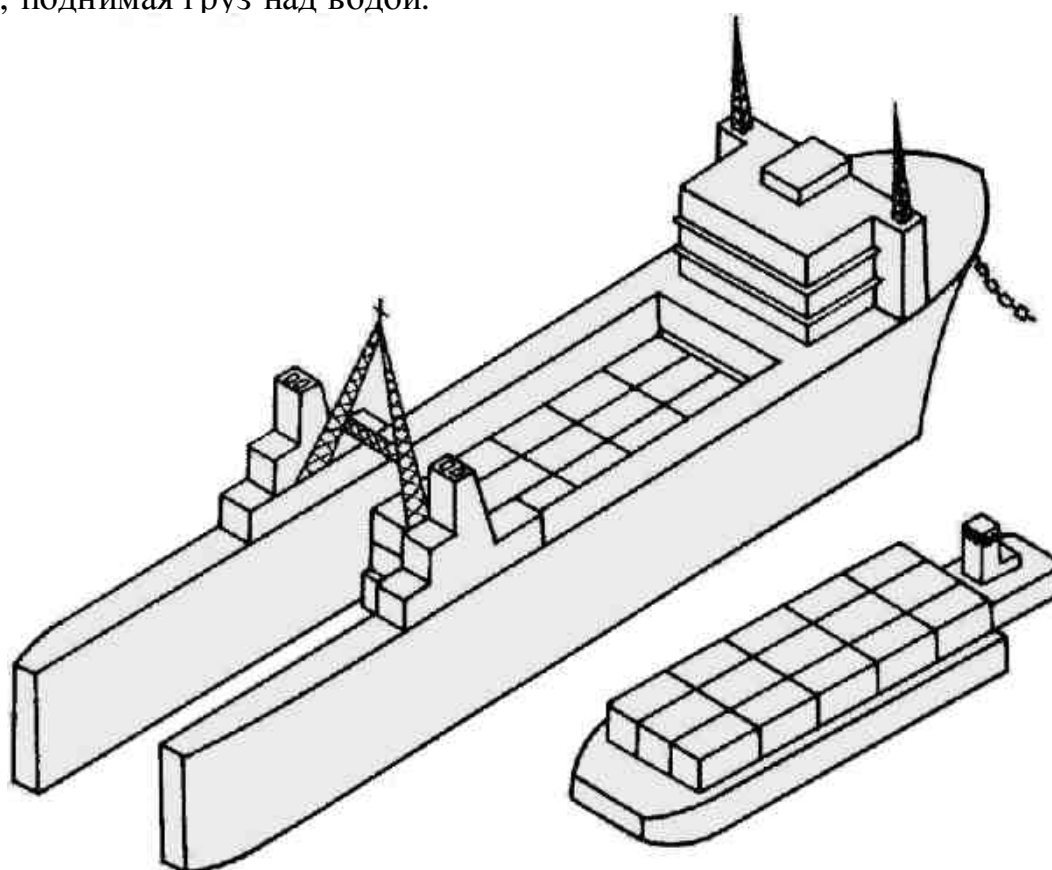


Рис. 5.28. СКГТ типа Ro-Flow

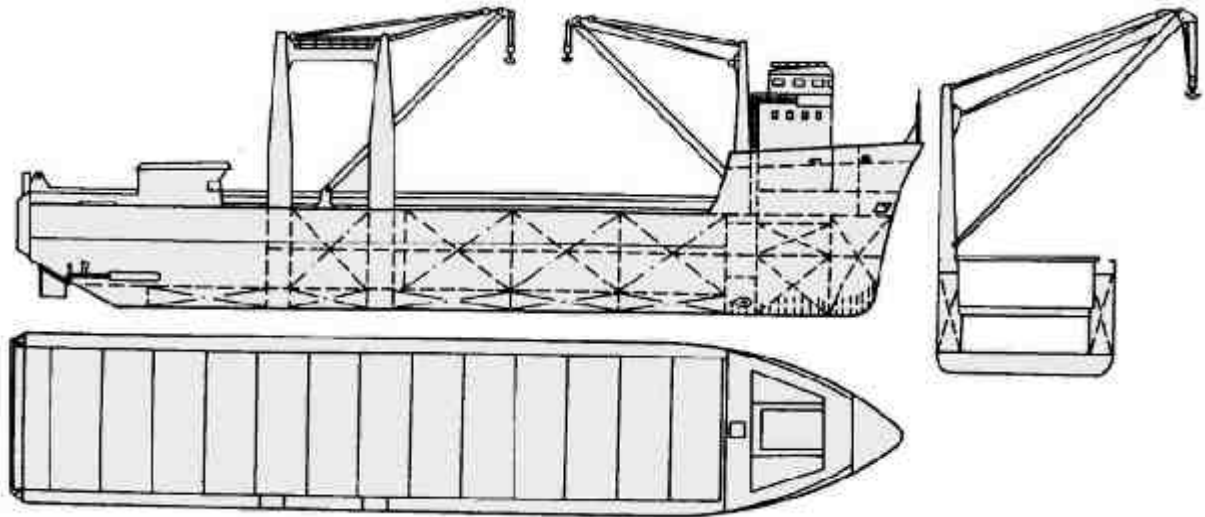


Рис. 5.29. Судно – тяжеловоз с башнями /1/

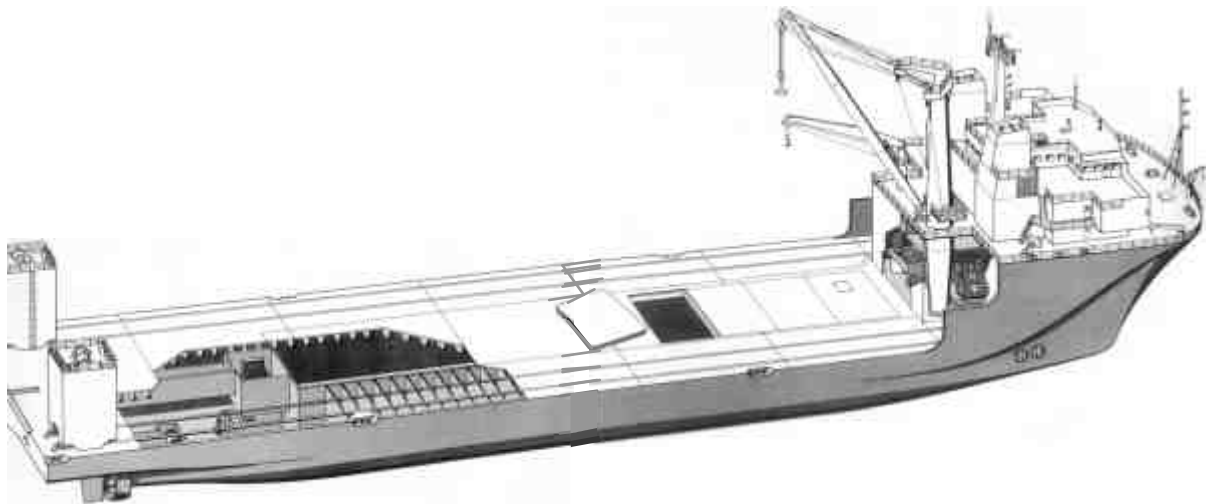


Рис. 5.30. Судно для перевозки крупногабаритных грузов «Mighty Servant»

5.6. Другие универсальные и специализированные сухогрузы

До 60-х годов XX в. архитектурно-конструктивный тип сухогрузов был стабильным. Это были универсальные суда, которые составляли основу транспортного флота. Обычно это суда с собственными грузовыми устройствами, двойным дном и несколькими палубами. Они могут иметь отдельные трюмы для навалочных и жидких грузов. До середины XX в. машинное отделение и многоярусная надстройка обычно располагались в

средней части, что обеспечивало хорошую удифферентовку судна при различной загрузке. Позже машинное отделение стали чаще сдвигать в корму (в основном с целью повышения грузовместимости – рис. 5.31).

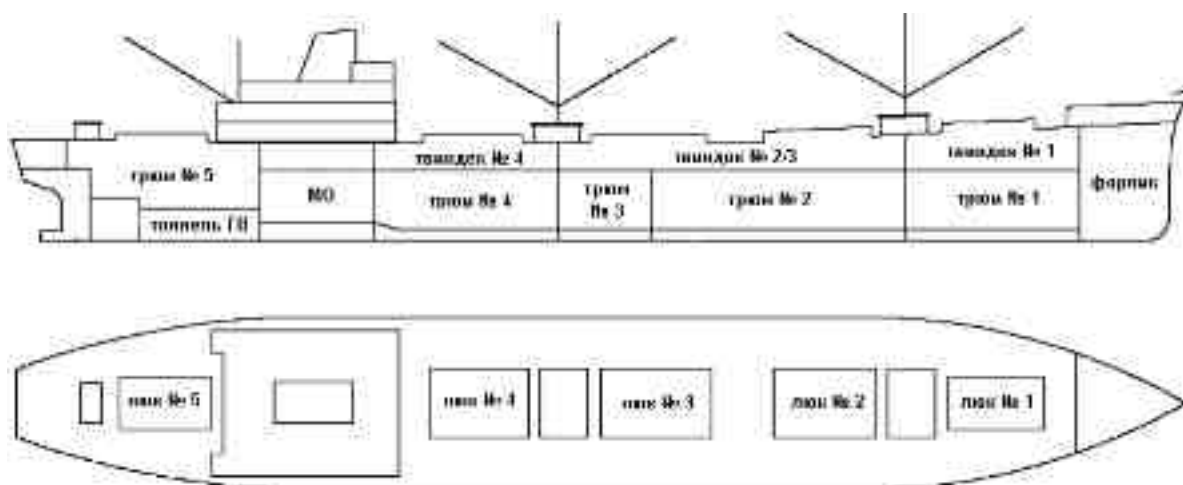


Рис. 5.31. Универсальный сухогруз

В настоящее время эти суда на многих линиях с большими грузопотоками вытеснены различными специализированными судами, более приспособленными для скоростной обработки в портах.

Система набора корпуса сухогрузов обычно смешанная: днище и верхняя палуба имеют продольную систему набора, а борта и нижние палубы – поперечную (рис. 5.32). Суды длиной менее 90 – 100 м чаще имеют поперечную систему набора (рис. 5.33). Борт обычно одинарный, с однородными шпангоутами. Комингс-карлингсы палуб часто поддерживаются пиллерсами или, при широких люках, мощными рамными (консольными) полубимсами (рис. 5.34). На рис. 5.35 и 5.36 приведены примеры конструкций речных сухогрузных судов.

К специализированным сухогрузам относятся самые разнообразные суда (рис. 5.37), но кроме уже рассмотренных (контейнеровозы, ролкеры, лихтеровозы, лесовозы, пакетовозы и пр.) отметим рефрижераторные суда. Они предназначены для перевозки скоропортящихся грузов (рыба, мясо, фрукты и др.) при пониженных (до $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурах и часто высокой (до 90 – 100 %) влажности.

Рефрижераторы должны иметь мощные системы охлаждения и термоизоляцию грузовых помещений. Для сохранения холода грузовые люки также имеют относительно небольшие размеры. Часто используются бортовые лацпорты (рис. 5.38).

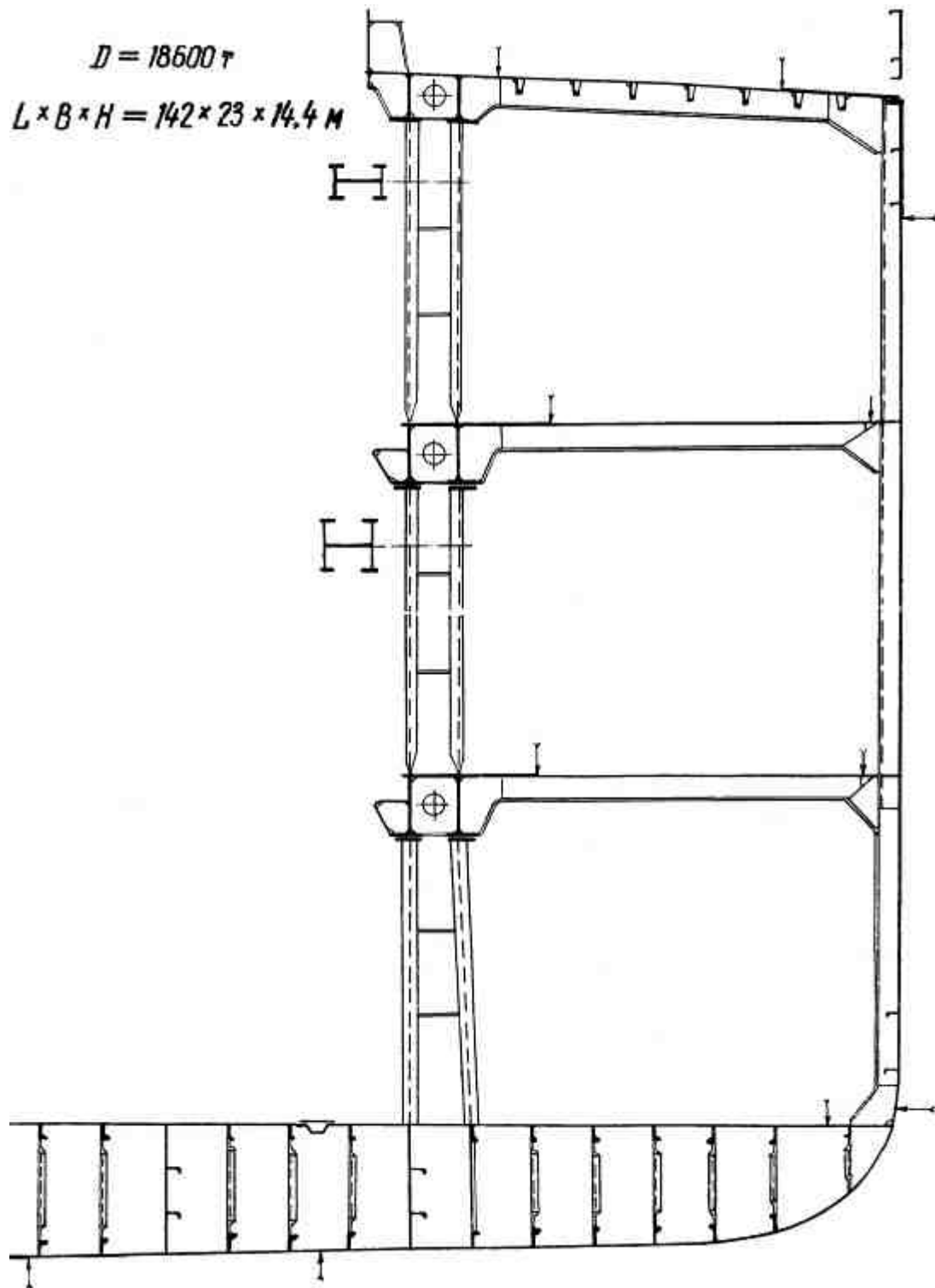


Рис. 5.32. Мидель-шпангоут сухогруза со смешанной системой набора

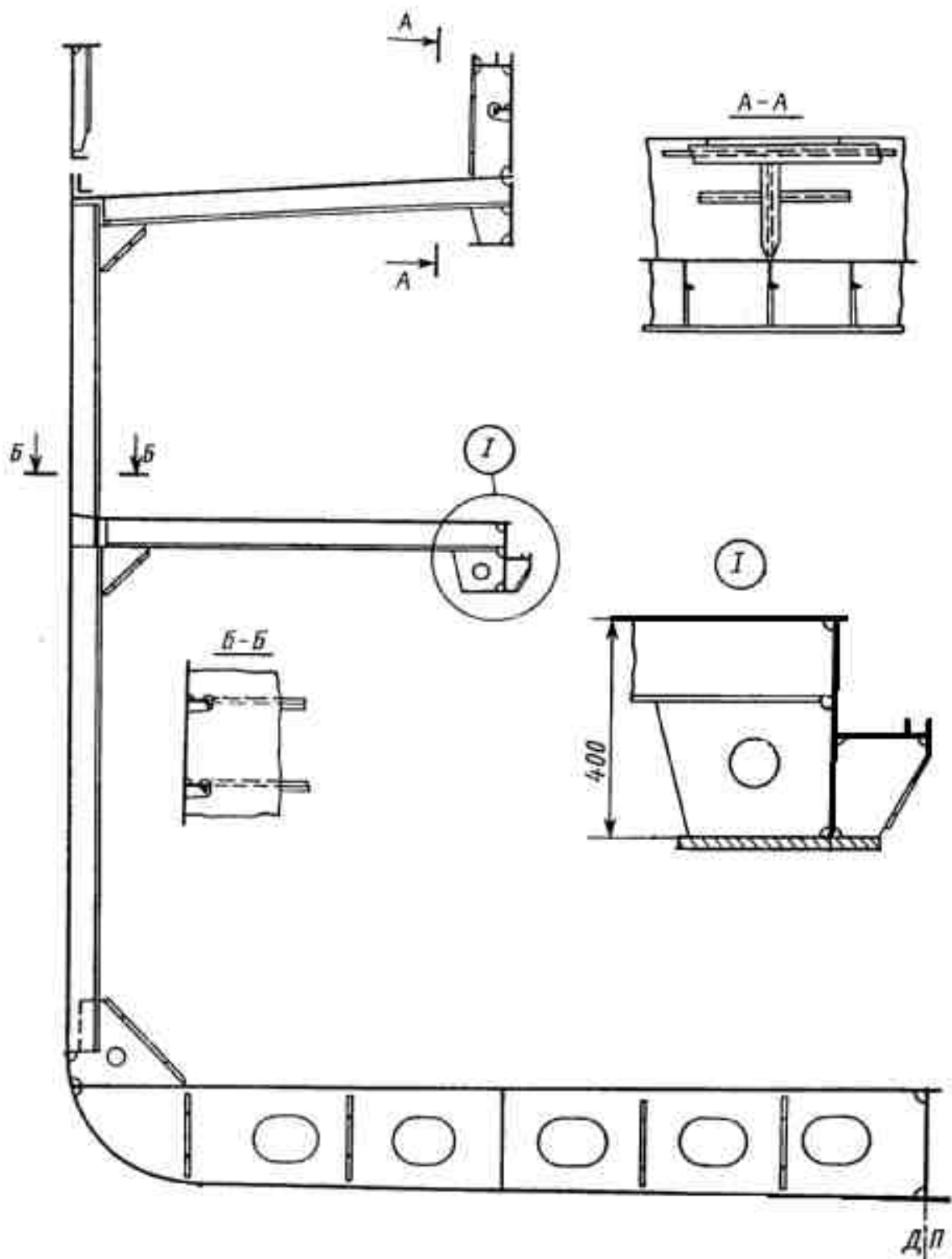


Рис. 5.33. Мидель-шпангоут универсального сухогруза с поперечной системой набора

При работе конструкций в условиях низких температур повышается вероятность образования хрупких трещин, поэтому для корпуса рефрижераторов необходимо использовать стали с повышенным сопротивлением хрупкому разрушению. Также следует уделять повышенное внимание к конструктивному оформлению узлов, исключая концентрации напряжений.

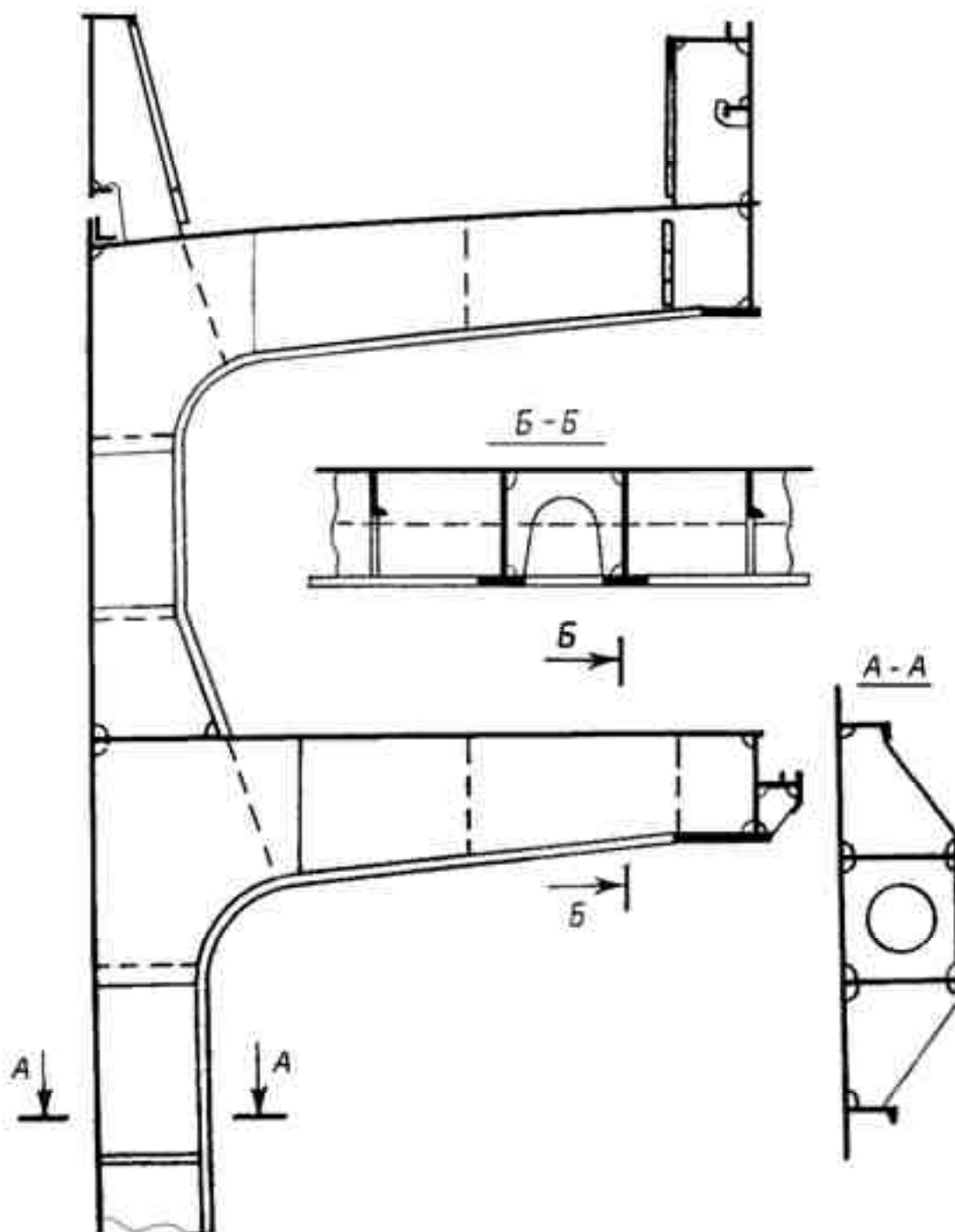


Рис. 5.34. Консольные полубимсы /13/

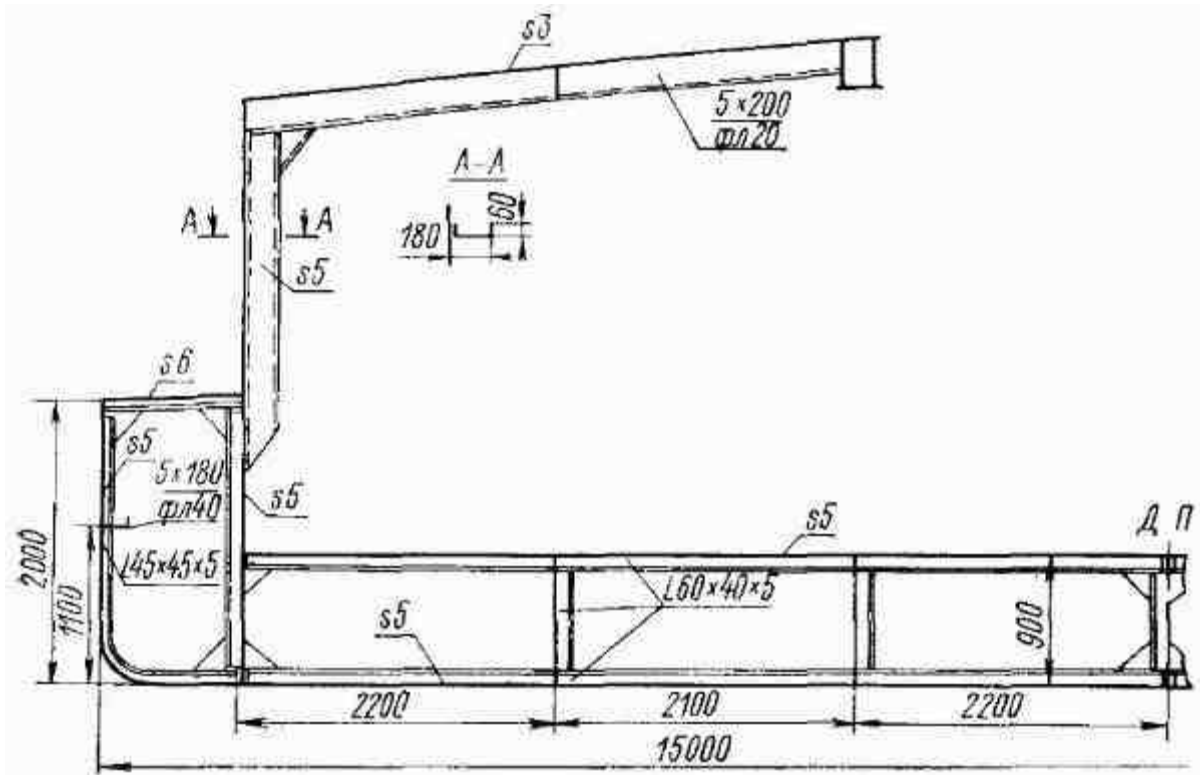


Рис. 5.35. Мидель-шпангоут речной баржи проекта 278 /16/

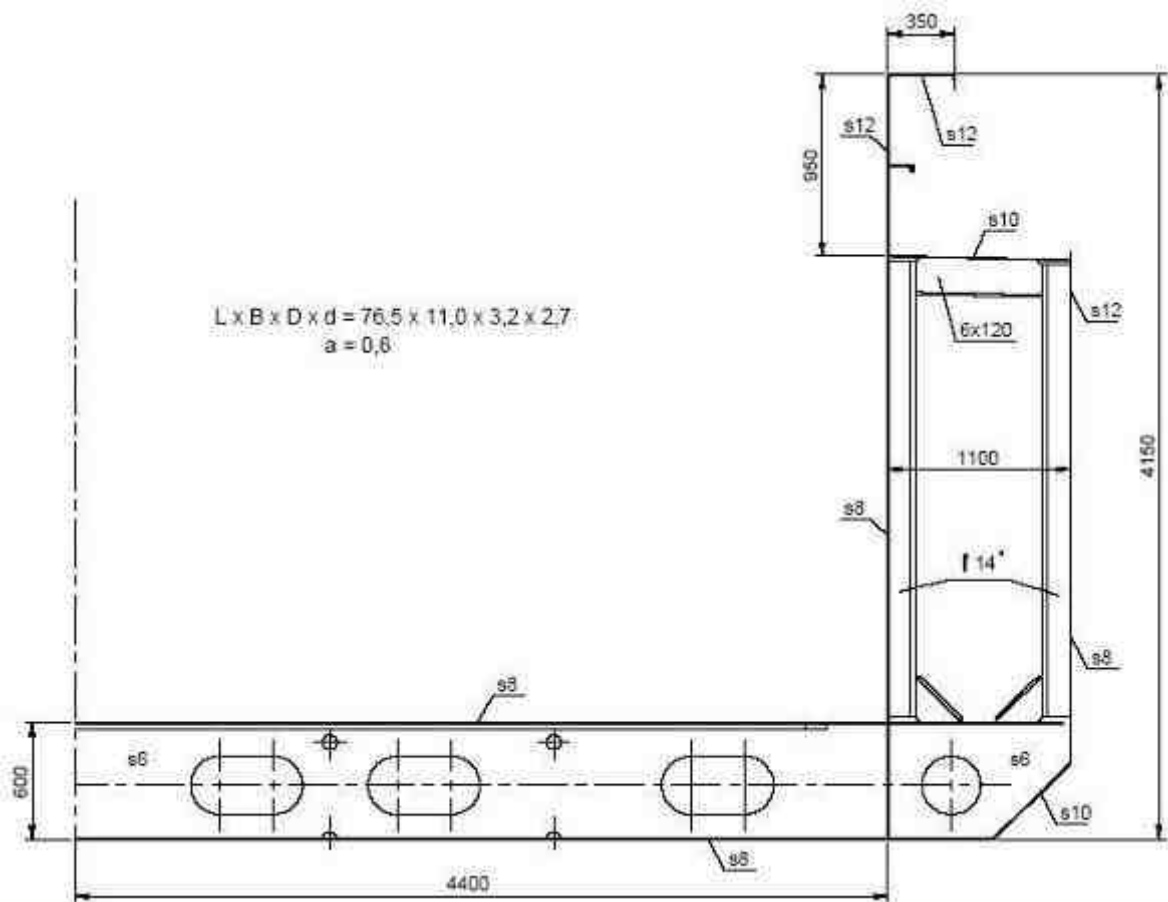


Рис. 5.36. Мидель-шпангоут речной сухогрузной баржи

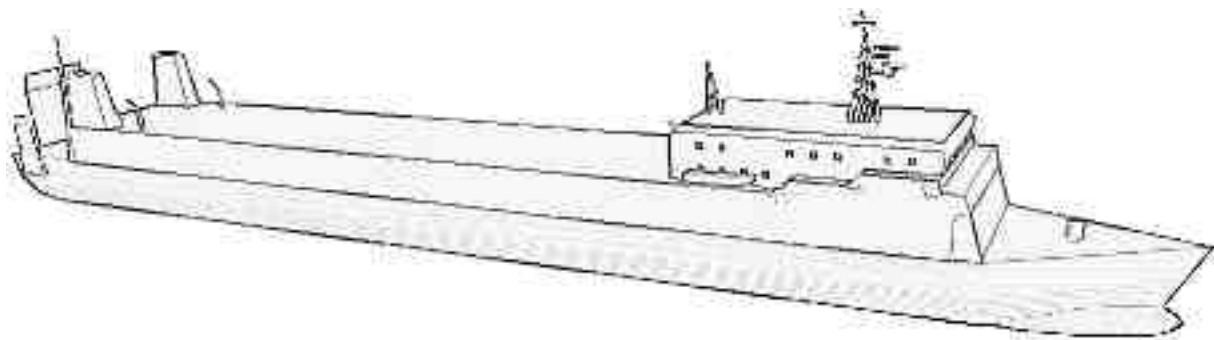


Рис. 5.37. Судно для перевозки домашнего скота

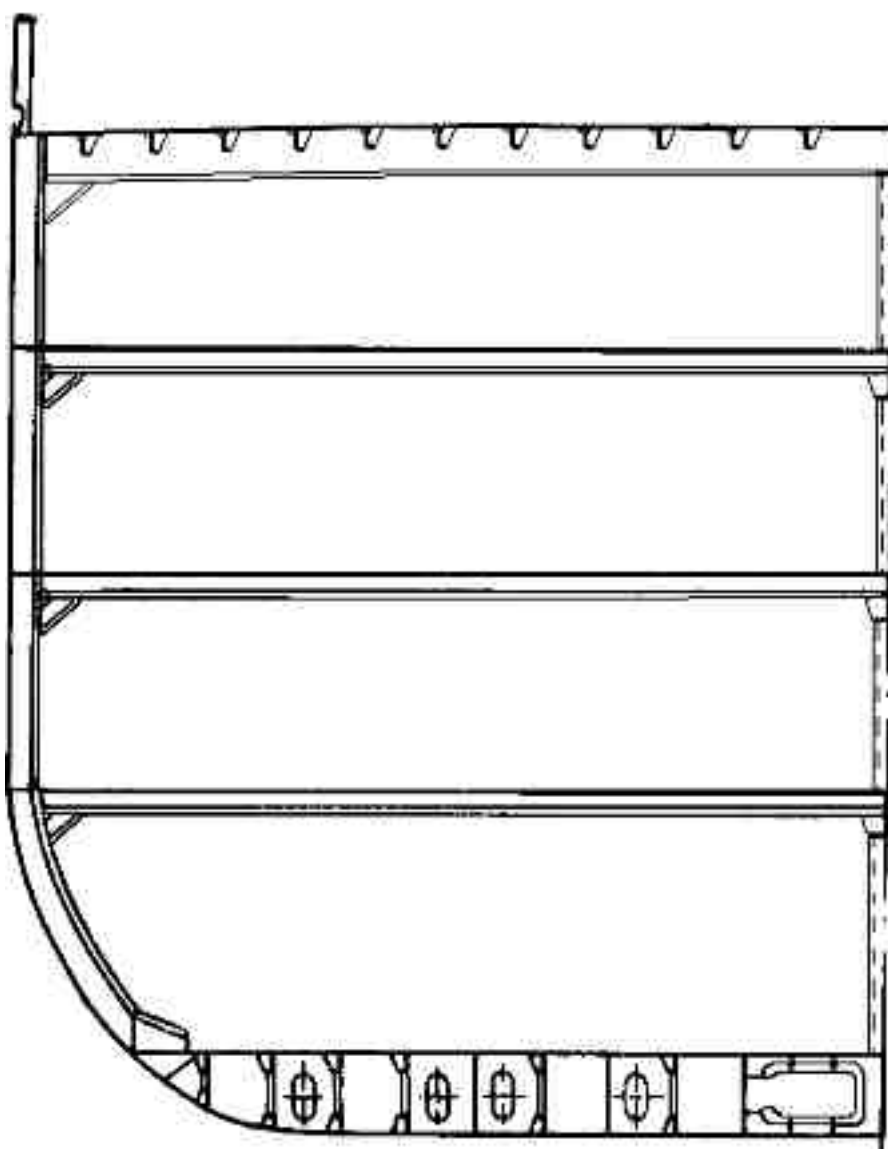


Рис. 5.38. Схема мидель-шпангоута многопалубного рефрижератора с грузовыми лацпортами в бортах /1/

6. ПЛАВУЧИЕ ДОКИ, ПРОМЫСЛОВЫЕ, ПАССАЖИРСКИЕ И ДРУГИЕ ВОДОИЗМЕЩАЮЩИЕ СУДА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СУДОХОДСТВО

6.1. Плавающие доки

По назначению доки делятся на ремонтные, передаточные (служащие для спуска судна на воду со стапеля) и транспортные (для транспортировки судов и других плавучих сооружений через акватории с ограничениями по осадке или мореходным условиям).

Наиболее типичные доки состоят из одного или нескольких понтонов и башен. Верхняя часть понтона называется стапель-палубой. Кроме двухбашенных или U-образных доков (рис. 6.1 – 6.4), некоторые плавдоки, для более удобного доступа к судну, имеют только одну башню – это так называемые однобашенные или L-образные доки [5]. Имеются плавдоки без башен – док-понтон. Некоторые доки в одной оконечности имеют водонепроницаемую переборку, а в другой оконечности – водонепроницаемые ворота, которые открываются на момент ввода судна и закрываются перед всплытием плавдока. Вода при этом откачивается не только из цистерн в башнях, но и из межбашенного пространства.

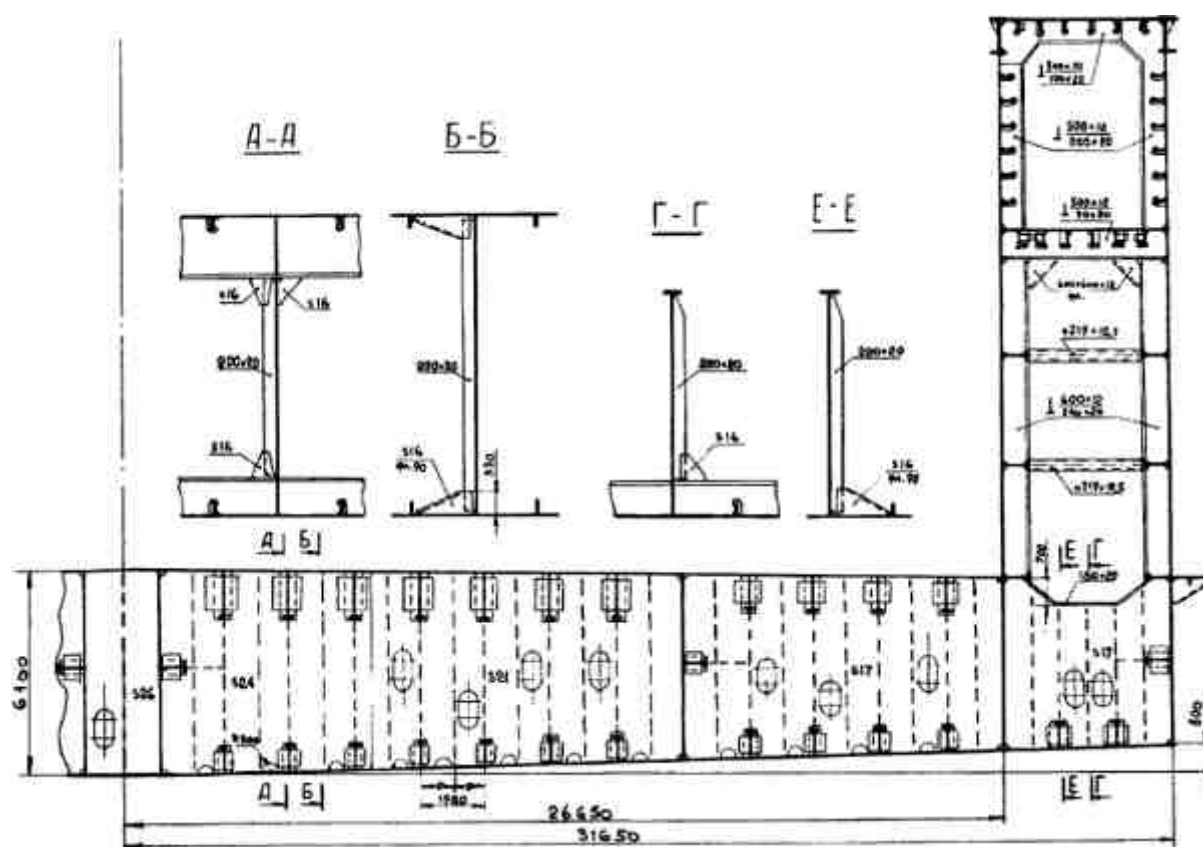


Рис. 6.1. Разрез по равному шпангоуту плавучего дока

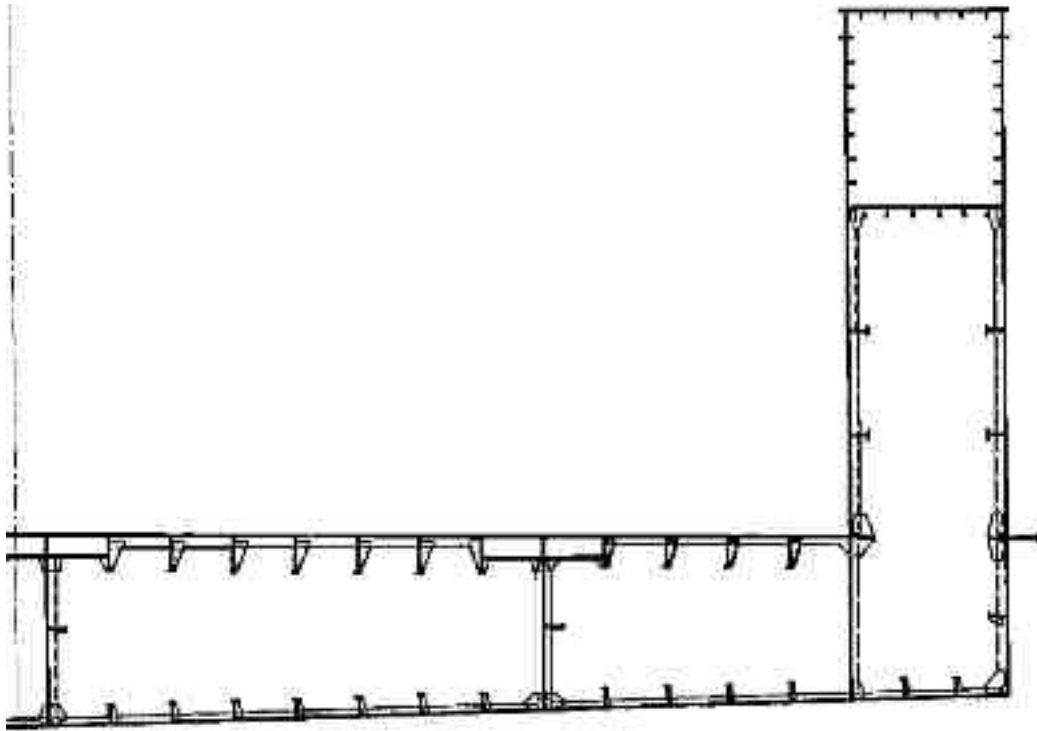


Рис. 6.2. Разрез по основному шпангоуту плавучего дока грузоподъемностью 60 тыс. т /5/

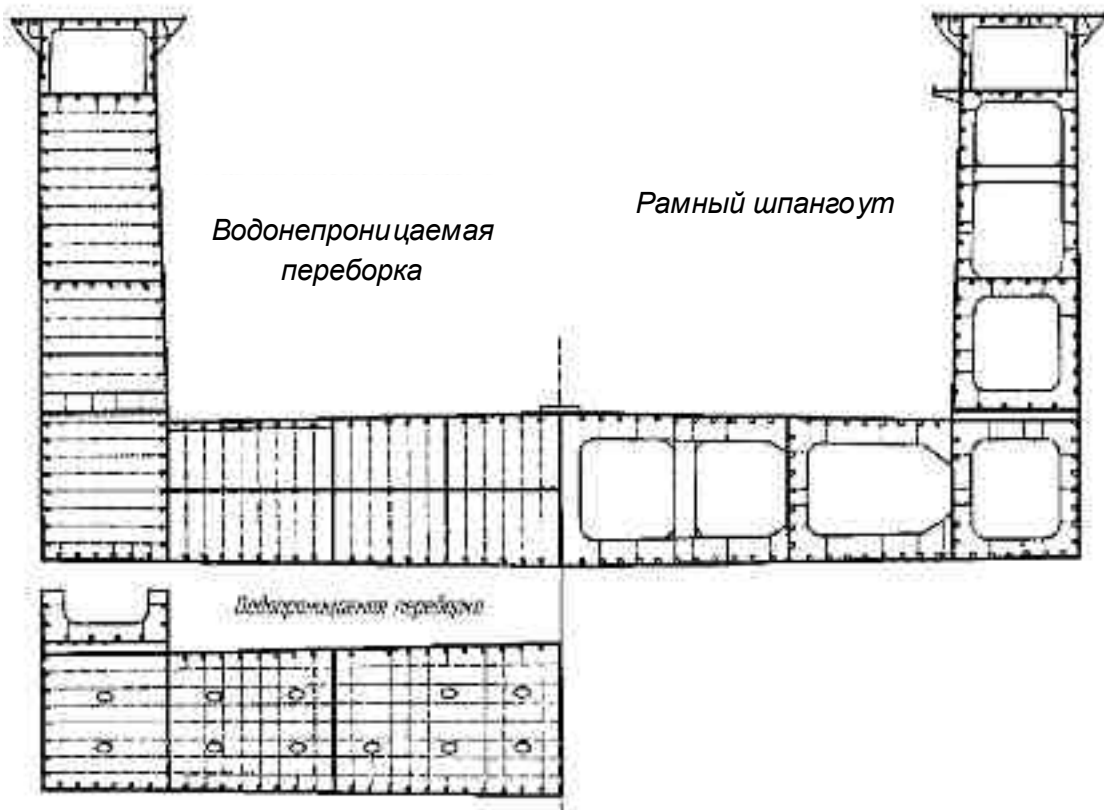


Рис. 6.3. Мидель-шпангоут плавучего дока грузоподъемностью 25 тыс. т /5/

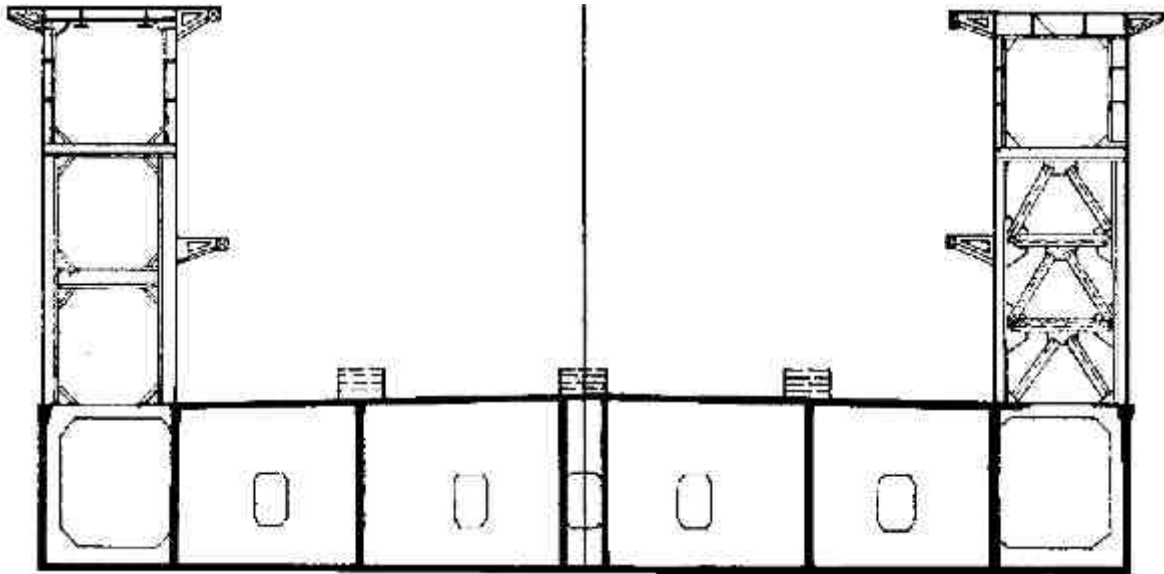


Рис. 6.4. Мидель-шпангоут композитного плавучего дока /16/

Плавучие доки бывают стальные, железобетонные и композитные (у которых обычно понтон железобетонный, а башни стальные – рис. 6.4). Башни и понтоны имеют ряд непроницаемых переборок, ограничивающих балластные цистерны. Система набора у большинства доков продольная или смешанная.

6.2. Суда, обеспечивающие судоходство

Для обеспечения судоходства существует огромное количество судов самых разнообразных типов. Каждый тип обладает своими конструктивными особенностями. Это ледоколы, спасательные суда, снабженцы, буксиры, земснаряды, плавучие доки, научно-исследовательские суда и суда гидрометеобеспечения, плавучие маяки, лоцманские катера, плавучие краны, нефтесборщики, плавучие причалы, дебаркадеры и др. На рис. 6.5 – 6.12 представлены некоторые примеры судов различного назначения.

Ледоколы (рис. 6.5, 6.6), характеризуются специфичной формой обводов, чрезвычайно мощными конструкциями перекрытий (большие толщины обшивки, рамный набор, поперечная система набора, уменьшенные шпации и др.).

Буксирные суда (рис. 6.8 – 6.12) отличаются конструкциями с повышенной местной прочностью, особенно в районе буксирных устройств. Разновидностью буксиров (обычно на реках) являются толкачи, которые имеют в носовой части специальные счаливающие устройства, передающие нагрузки от толкания барж на корпус (рис. 6.10, 6.11). Дополнительную прочность придают продольные переборки корпуса в носовой оконечности.

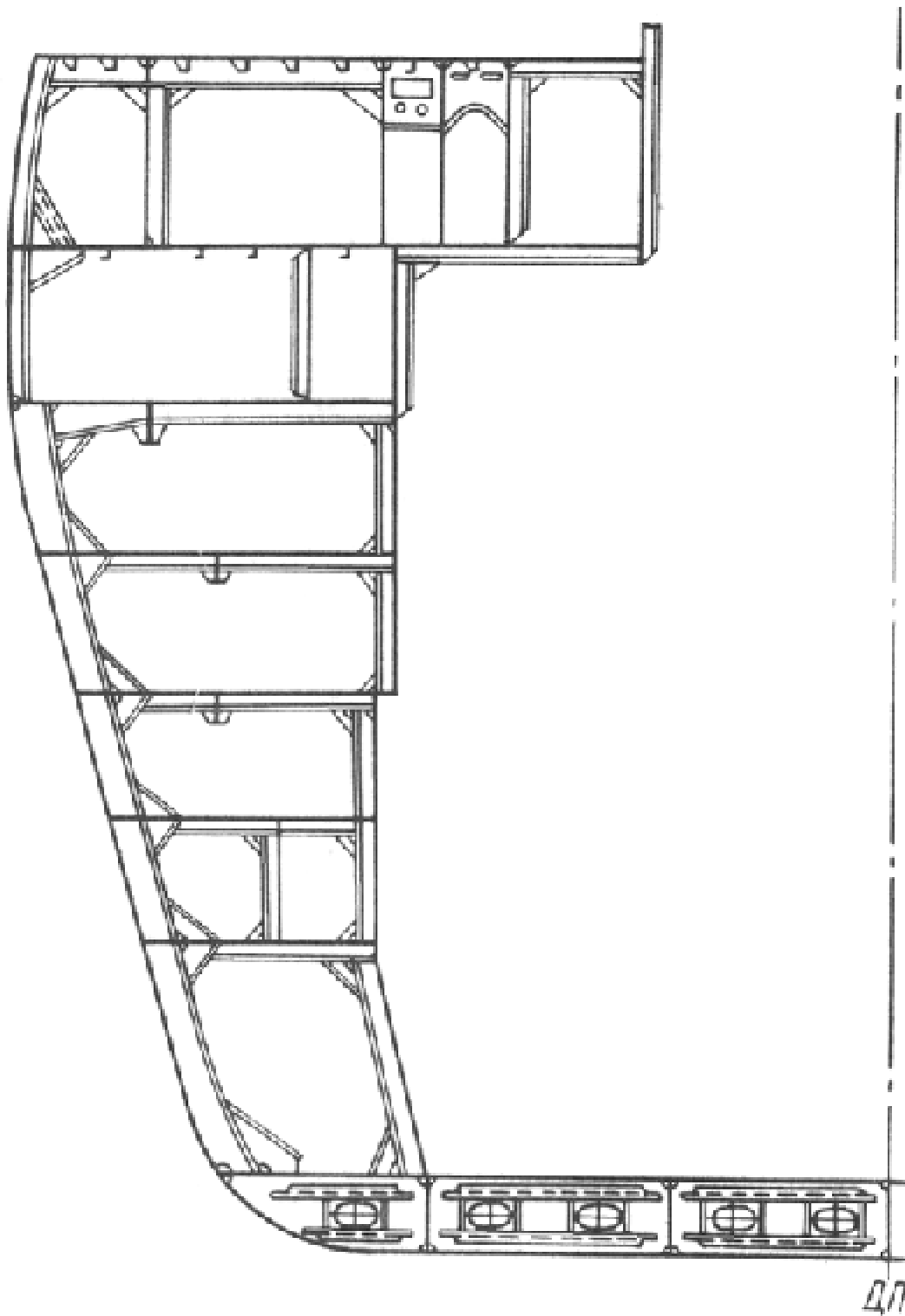


Рис. 6.5. Мидель-шпангоут атомного ледокола,
борт которого подкреплён платформами /1/

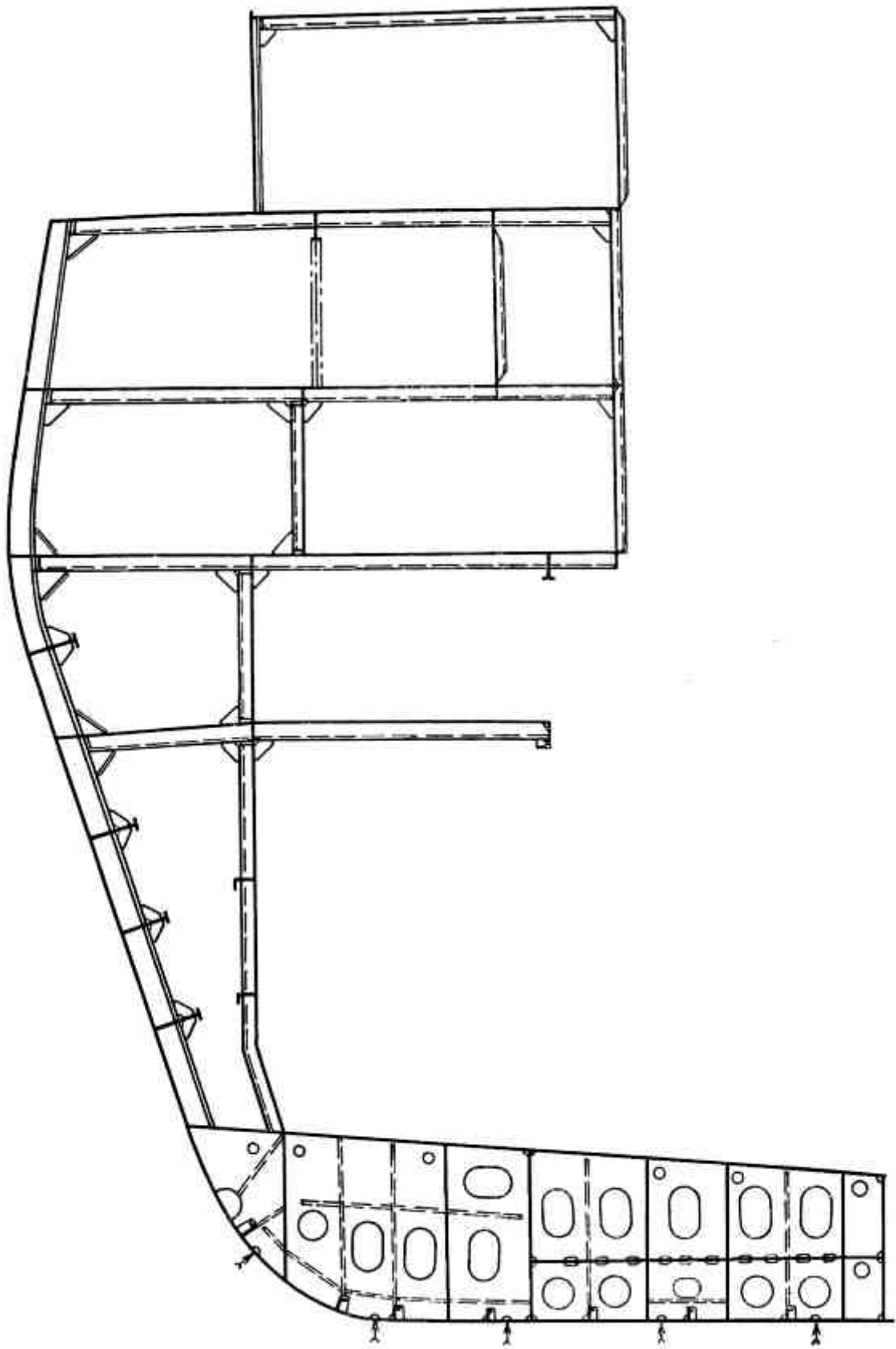


Рис. 6.6. Мидель-шпангоут ледокола «Ермак» /1/

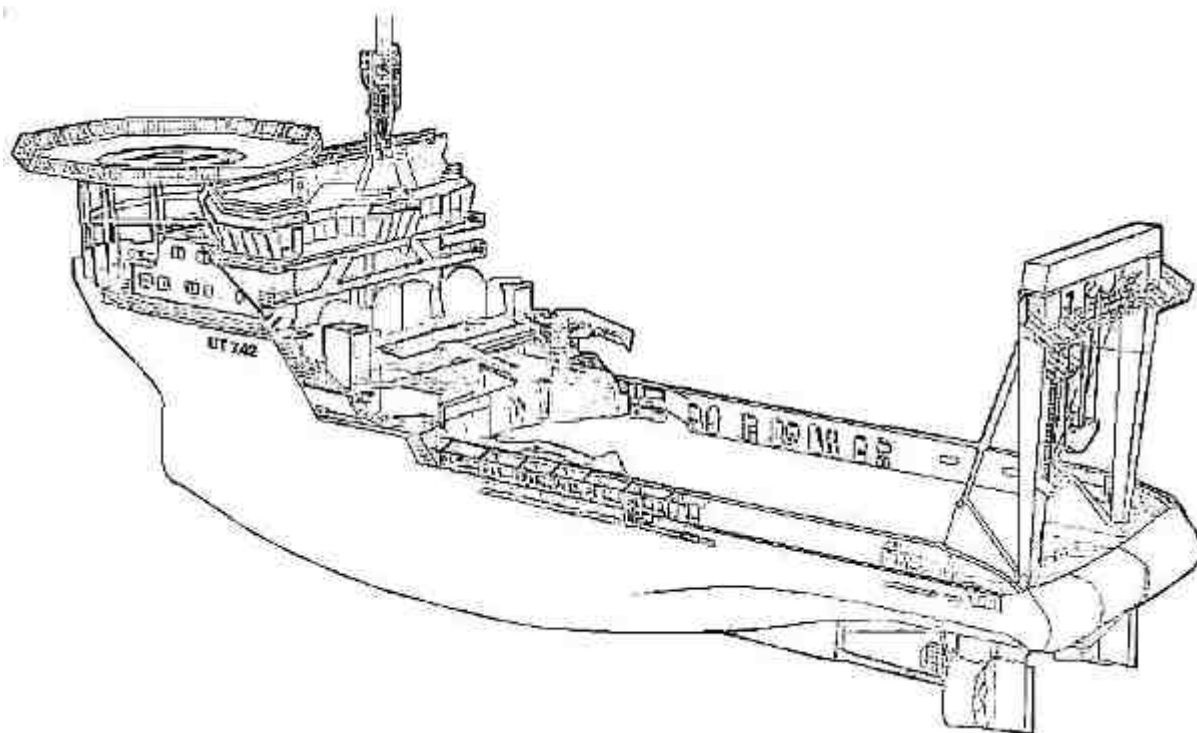


Рис. 6.7. Судно-снабженец нефтепромыслов



Рис. 6.8. Портовый буксир

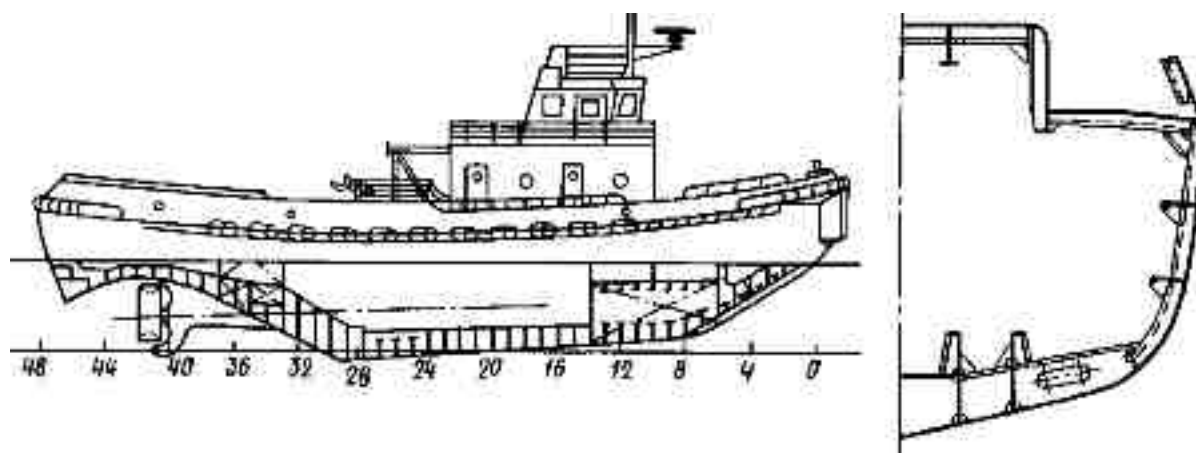


Рис. 6.9. Морской буксир

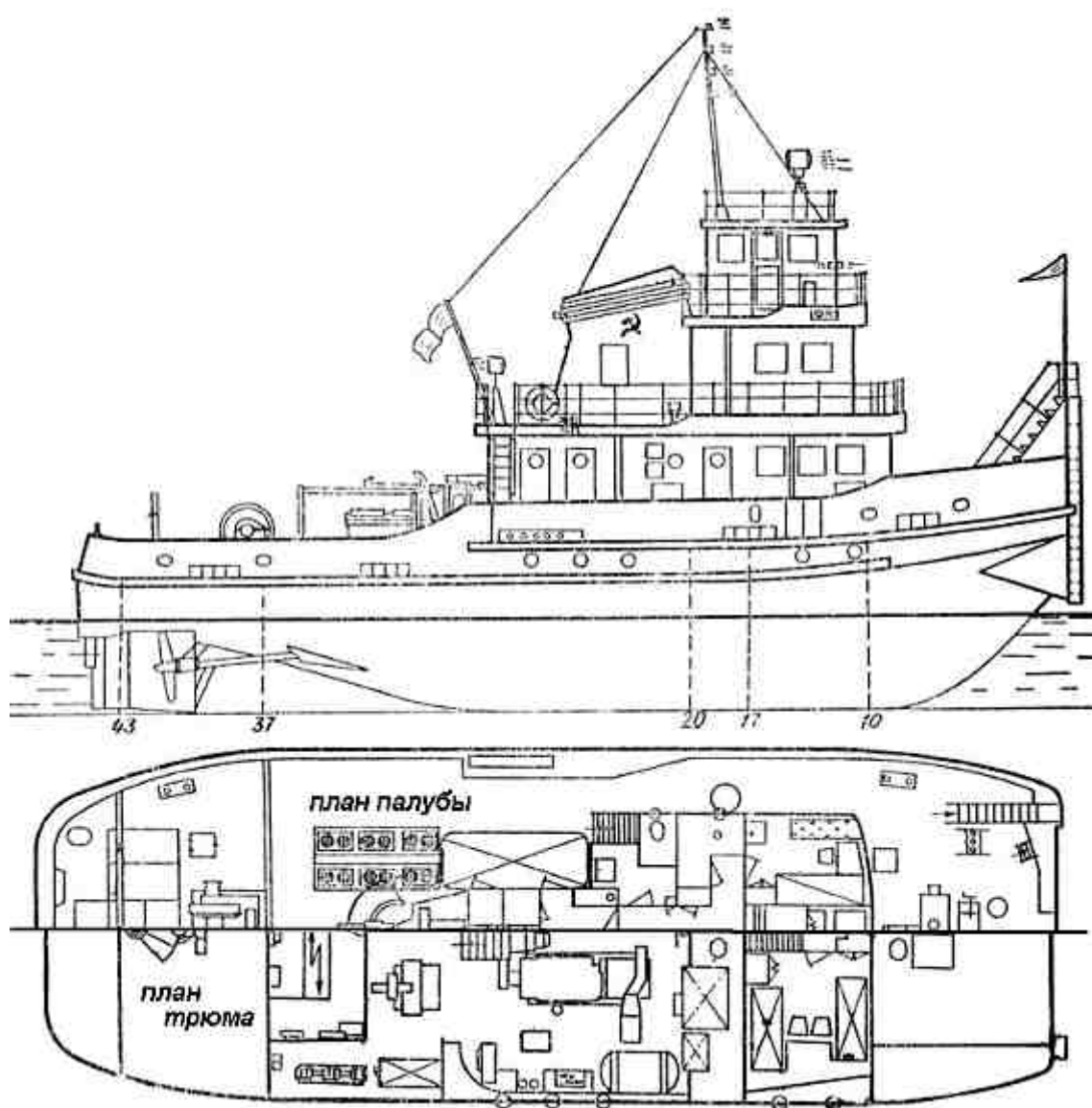


Рис. 6.10. Речной буксир – толкач «Шлюзовой»



Рис. 6.11. Речной буксир – толкач

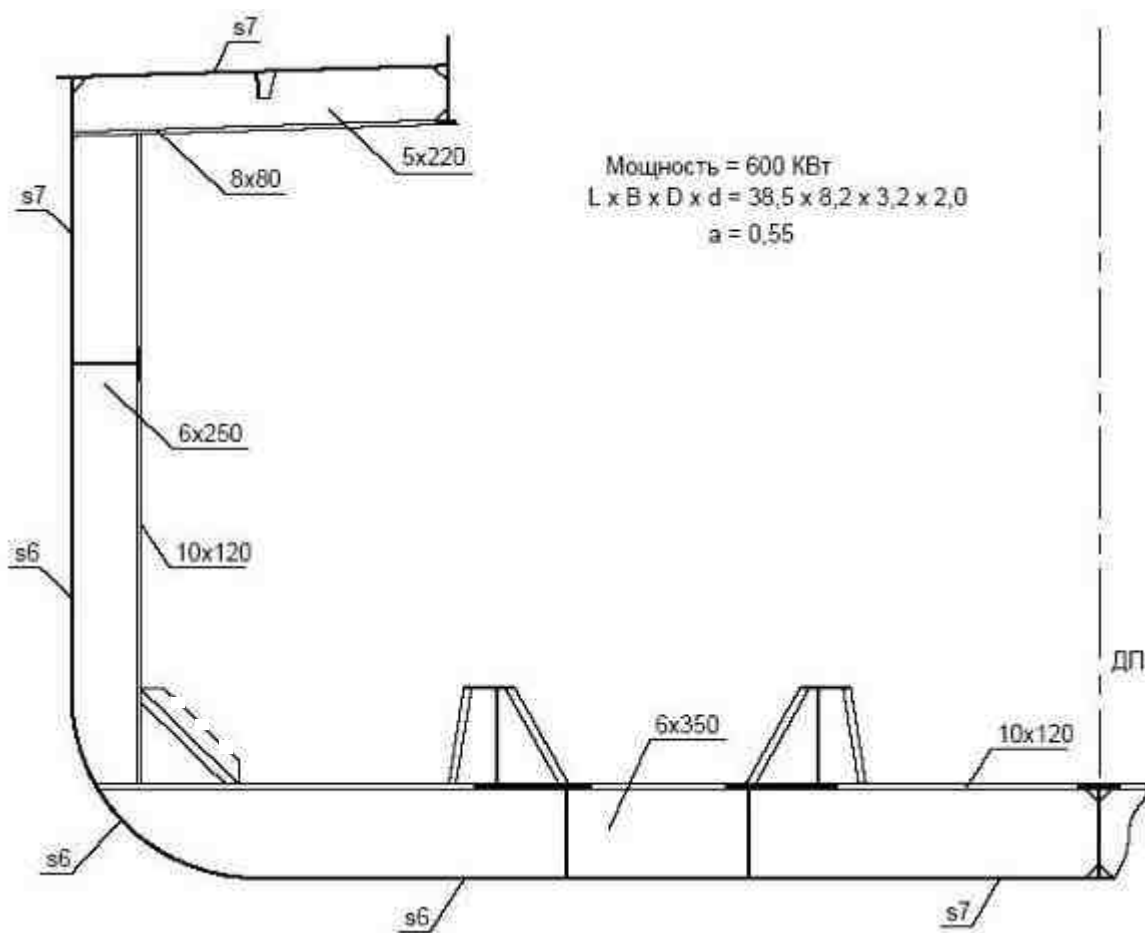


Рис. 6.12. Мидель-шпангоут речного толкача «ОТ-800»

6.3. Промысловые суда

Промысловые суда прежде всего составляют флот рыбной промышленности, хотя в последнее время появляются суда для других видов морского промысла (добыча различных видов морских ресурсов, главным образом – нефтепромысел). Рыбопромысловые суда можно представить четырьмя основными группами /17/: добывающие (сейнеры, траулеры, зверобойные, суда для добычи нерыбных морепродуктов и др.); обрабатывающие (рыбозаводы, производственные рефрижераторы и др.); приёмно-транспортные рефрижераторы; вспомогательные (рыбоохранные, научно-исследовательские, снабженцы, буксиры и пр.).

Основу добывающих судов составляют сейнеры (для ловли рыбы кошельковым неводом, выбираемым с борта – рис. 6.13) и траулеры (для ловли тралом, выбираемым с кормы – рис. 6.14). На рис. 6.15, 6.16 представлены типичные конструкции сейнера и траулера. Большинство сейнеров относится к малым (длиной до 35 м), реже – к средним рыболовным судам (длиной до 65 м). Траулеры могут быть различных размеров: от малых (для прибрежного лова) до больших морозильных (БМРТ) и супертраулеров длиной более 100 м (для океанского промысла). Для выборки трала корма траулера имеет специфичную форму с наклонным слипом или округлым полуслипом (рис. 6.17). Для повышения мореходности на волнении сейнеры и траулеры часто имеют высокий бак или седловатость палубы (рис. 6.18).

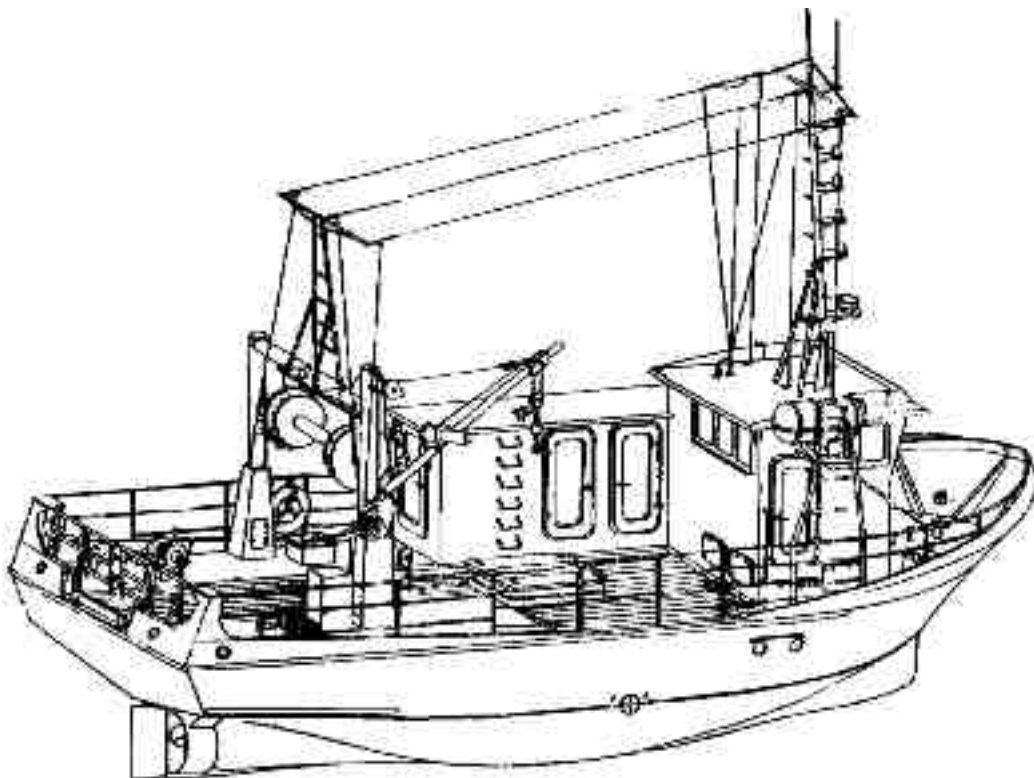


Рис. 6.13. Малый рыболовный сейнер



Рис. 6.14. Малый рыболовный траулер

Наиболее крупными судами обработки для океанского экспедиционного промысла являются плавучие промысловые базы или рыбозаводы – суда, сочетающие функции рефрижератора, танкера (для снабжения топливом всех судов экспедиции), пассажирского судна, завода по выпуску мороженой продукции, консервов и пр. Особенностями их конструкции является большое количество переборок и палуб, системы пиллерсов, длинные надстройки или рубки, опирающиеся на продольные переборки и участвующие в общем продольном изгибе корпуса (рис. 6.19, 6.20).

Приёмно-транспортные суда принимают и перевозят рыбную продукцию, а также снабжают суда в районе промысла топливом, водой, провизией и промысловым снаряжением. Эти суда конструктивно аналогичны транспортным рефрижераторным судам. Они имеют несколько палуб, небольшие грузовые люки, отдельные трюмы или цистерны для различных видов грузов.

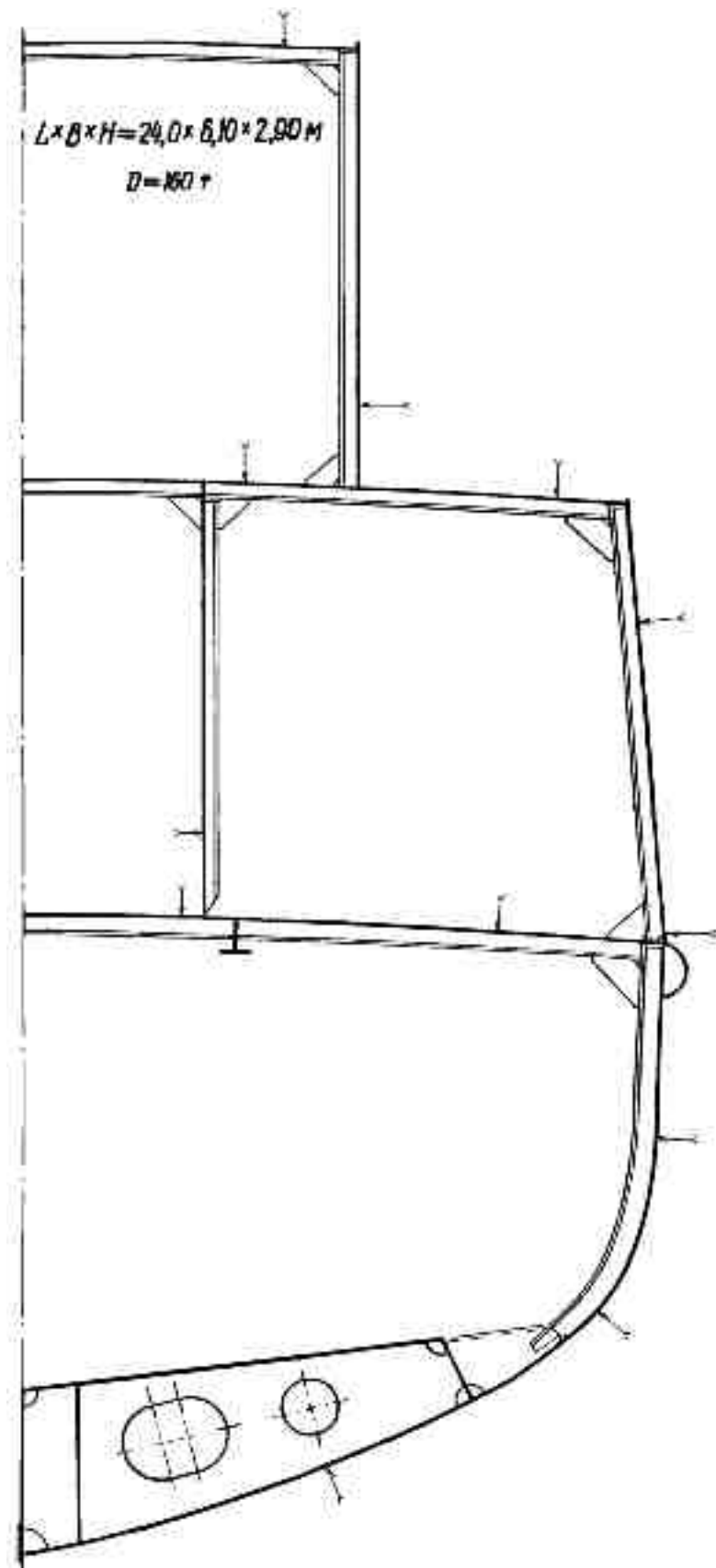


Рис.6.15. Мидель-шпангоут сейнера

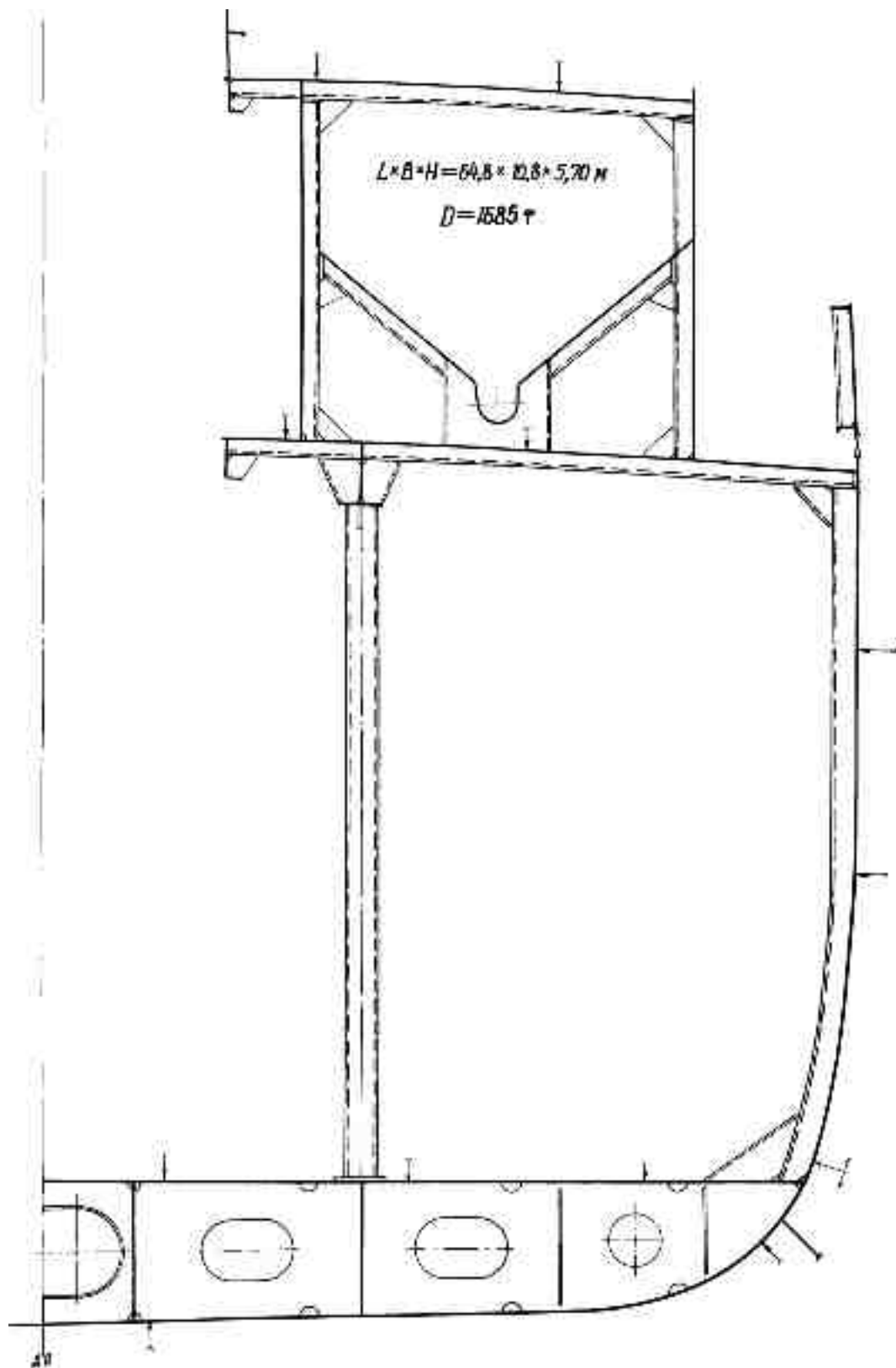


Рис.6.16. Мидель-шпангоут траулера

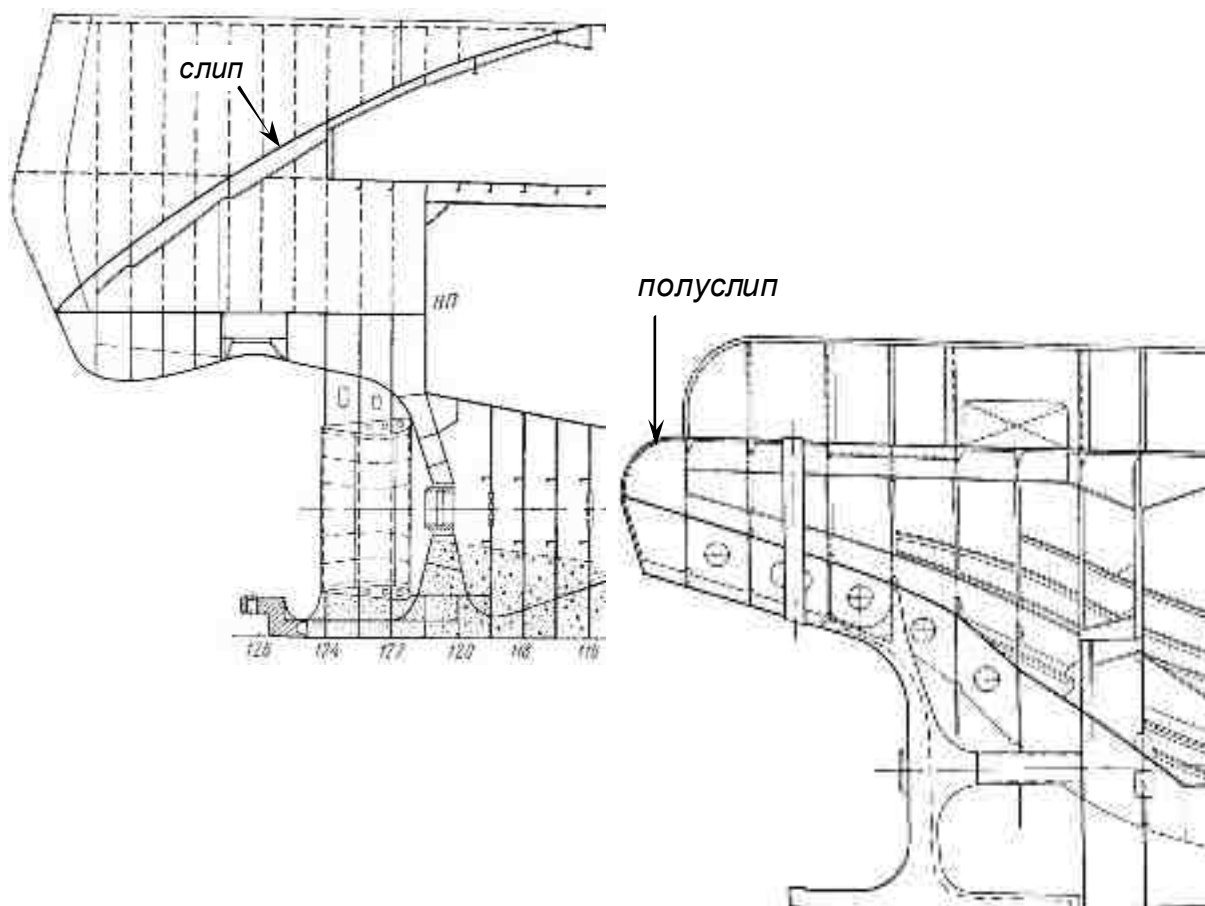


Рис.6.17. Слип и полуслип траулеров /17/

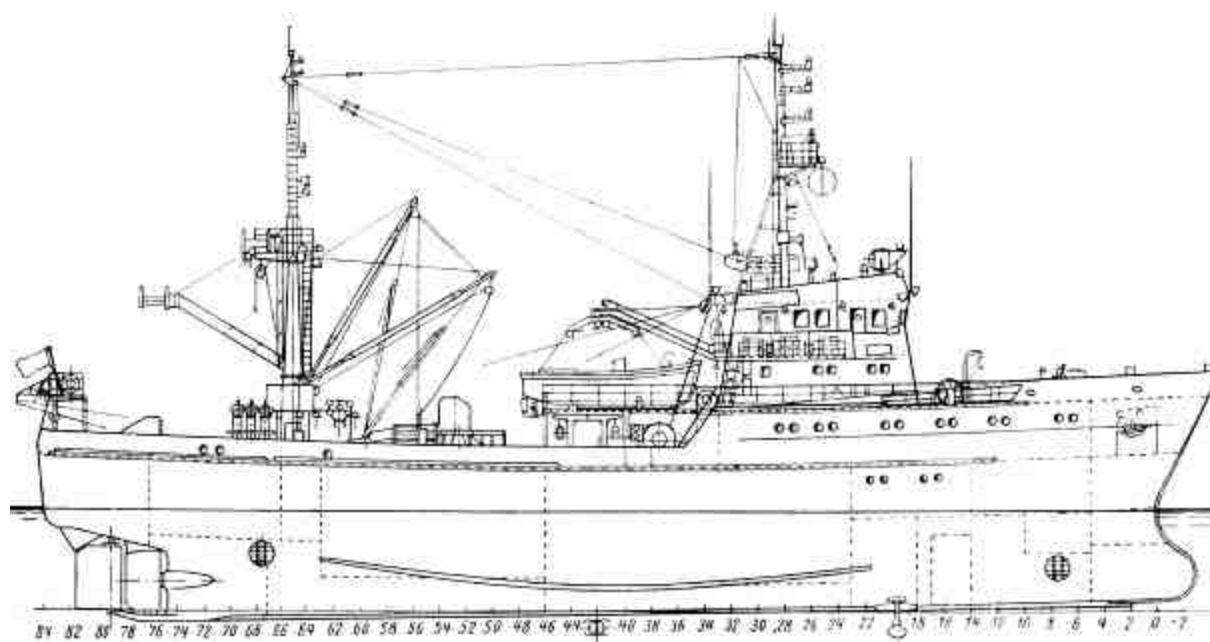


Рис. 6.18. Рефрижераторный сейнер-траулер «Альпинист»

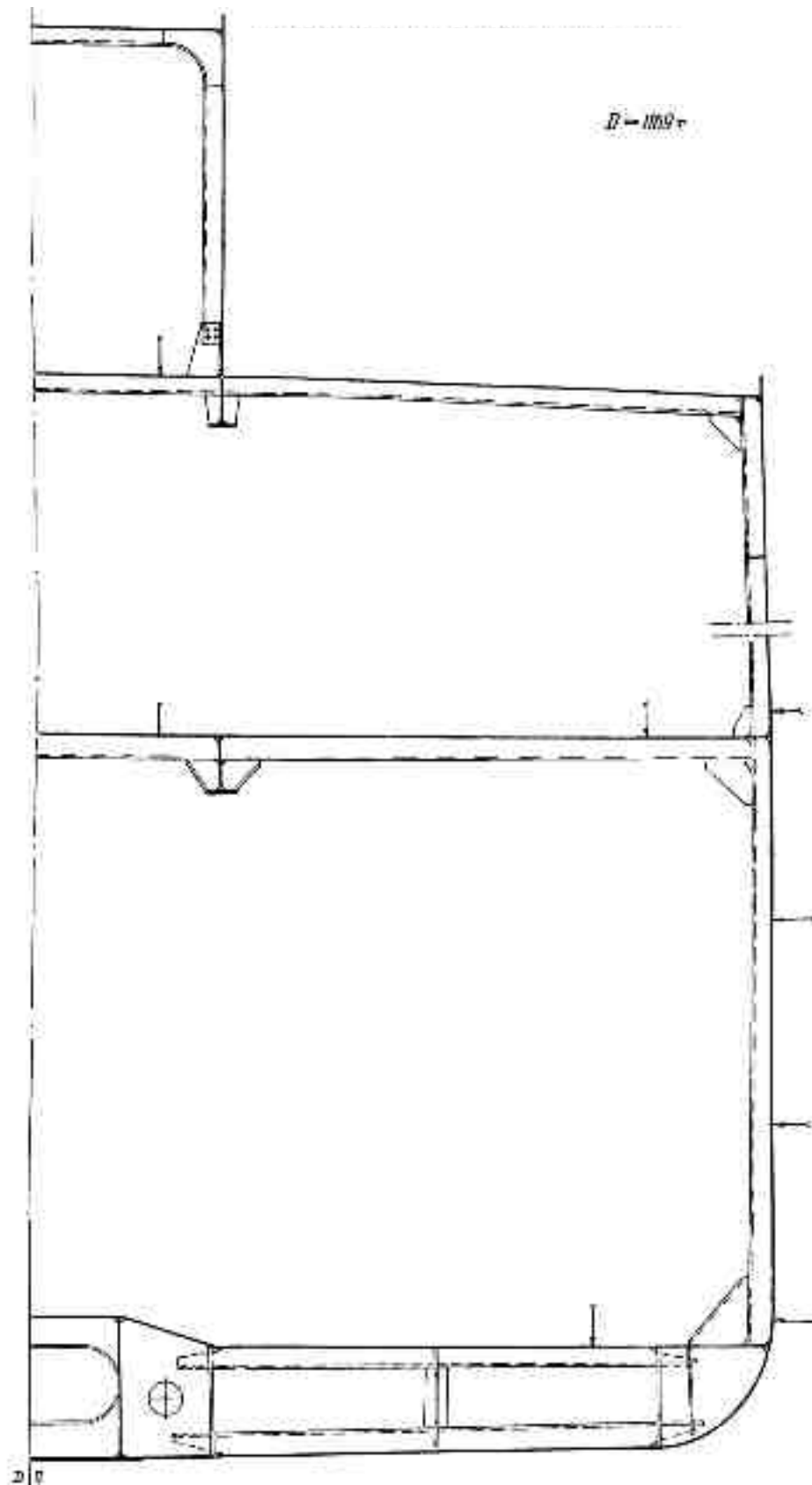


Рис. 6.19. Мидель-шпангоут рефрижераторного судна
(разрез по бракетному флору)

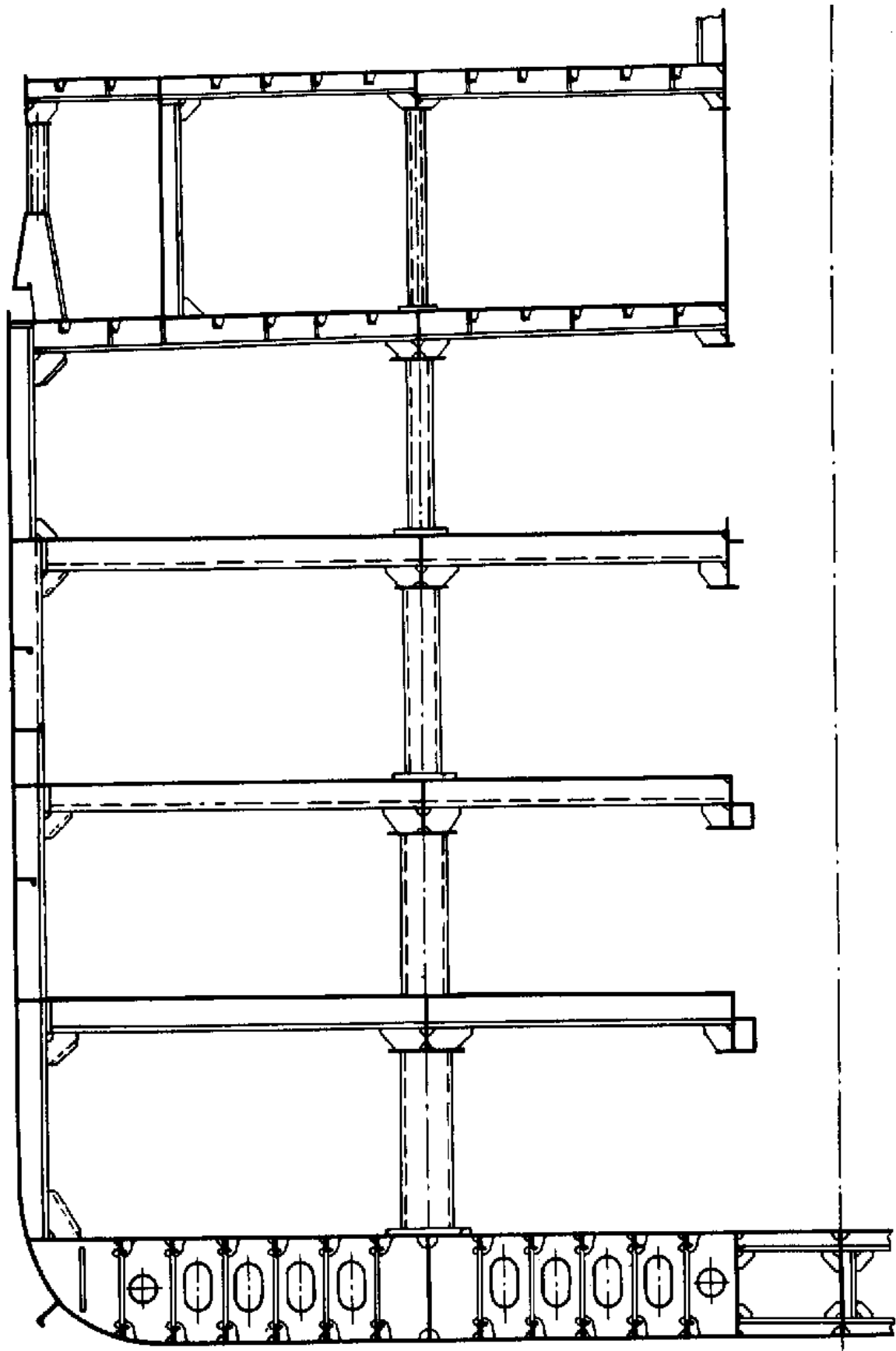


Рис. 6.20. Мидель-шпангоут рыбообрабатывающего судна /17/

6.4. Пассажирские суда

Из большого разнообразия пассажирских судов выделим несколько основных типов (рис. 6.21 – 6.30): линейные (лайнеры), круизные, линейно-круизные, паромы (автомобильно-пассажирские и железнодорожно-пассажирские), прогулочные и разъездные суда. Существуют также комбинированные – грузопассажирские суда, к которым можно отнести и большинство паромов.

Океанские пассажирские лайнеры, широко распространённые до середины XX в., в настоящее время практически исчезли, не выдержав конкуренции со стороны авиатранспорта. В основном линейные суда используются на местных линиях небольшой протяжённости, причём это, как правило, высокоскоростные суда (СМПВ и СПК).

Основные требования к пассажирским судам, определяющие их архитектуру и конструкцию: привлекательный внешний вид и внутренний дизайн; удобство размещения пассажиров в каютах с естественным освещением; повышенные ограничения к уровням вибрации, шума и ускорений при качке; повышенные требования безопасности. Условия эксплуатации корпуса у пассажирских судов обычно относительно «мягкие» (малые давления от груза, уравновешенность нагрузки по длине судна, меньшая коррозия).

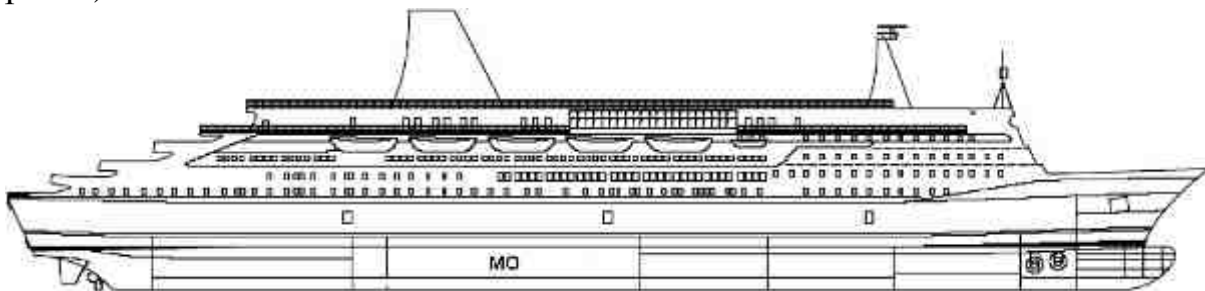


Рис. 6.21. Пассажирское судно

Конструктивными особенностями пассажирских судов являются: многоярусные и длинные надстройки с пассажирскими каютами и другими помещениями для обслуживания пассажиров, имеющие большое количество оконных вырезов; увеличенное число переборок или двойные борта; применение устройств и конструкций, снижающих качку или её воздействие на людей (успокоители качки, скуловые кили, многокорпусные конструкции); применение вибро- и шумоизоляции, демпферов вибрации. Для обеспечения остойчивости надстройки часто изготавливают из лёгких сплавов. Для прогулочных судов (рис. 6.26 – 6.29) при изготовлении не только надстроек, но и всего корпуса часто используются алюминиевые сплавы и композиционные материалы (стеклопластики, углепластики и пр.).

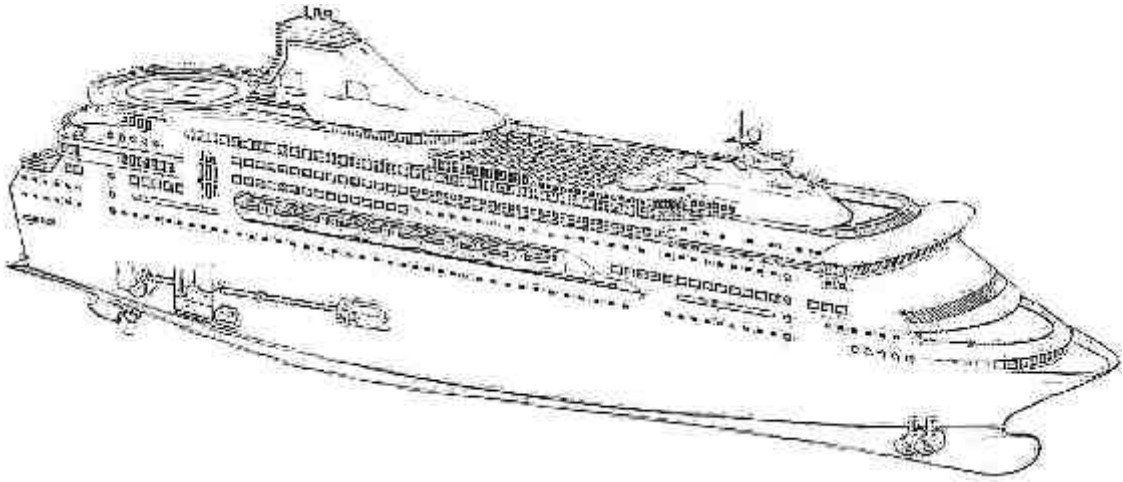


Рис. 6.22. Крузное судно



Рис. 6.23. Крузные суда /20/:
Carnival Conquest; Voyager of the Seas; Queen Mary 2

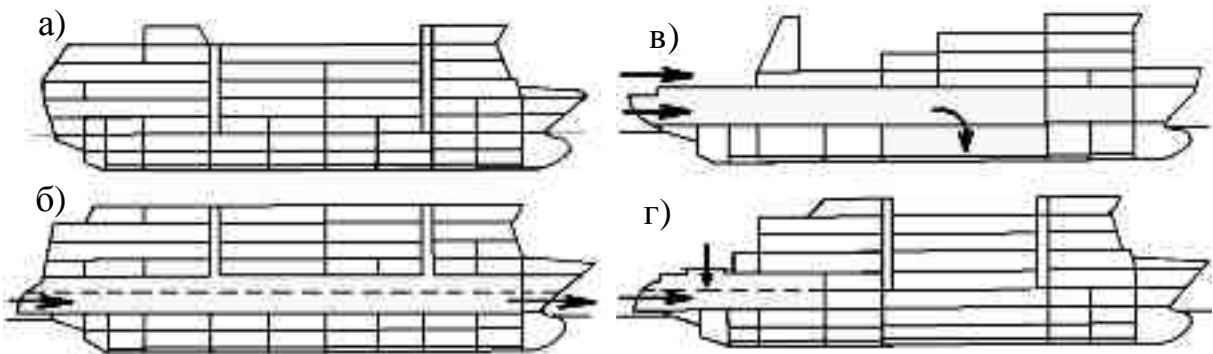


Рис. 6.24. Схемы архитектурно-конструктивных типов пассажирских судов:
а – лайнеры и крузные суда; б – автомобильно-пассажирские паромы;
в – железнодорожно-автомобильные паромы с грузовым трюмом;
г – грузопассажирские суда с грузовыми люками

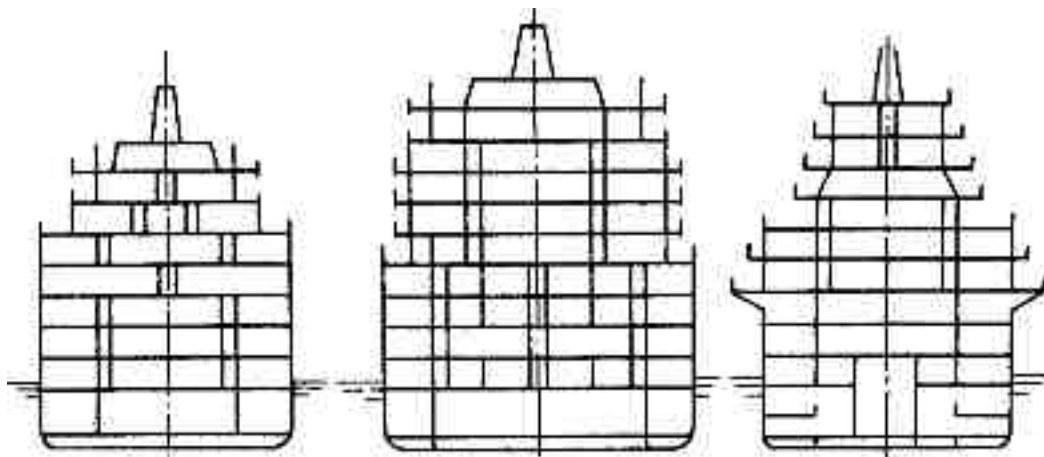


Рис. 6.25. Примеры компоновки помещений пассажирских судов /14/

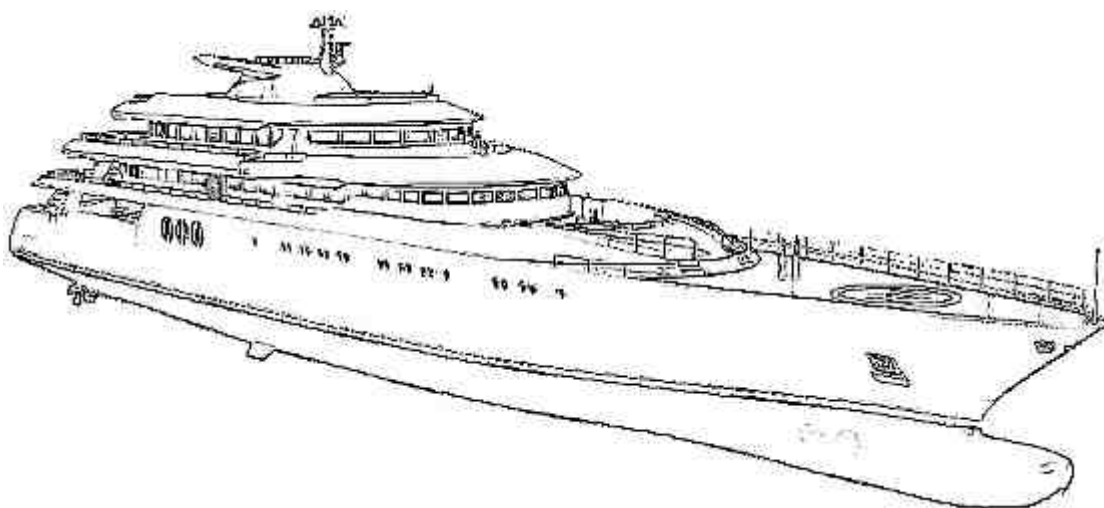


Рис. 6.26. Моторная яхта /23/

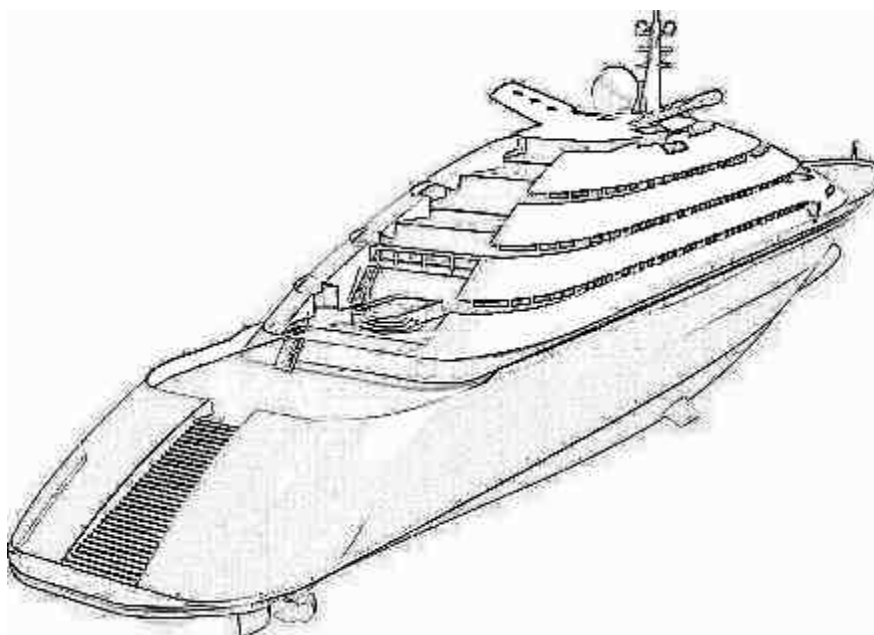


Рис. 6.27. Яхта длиной 140 м

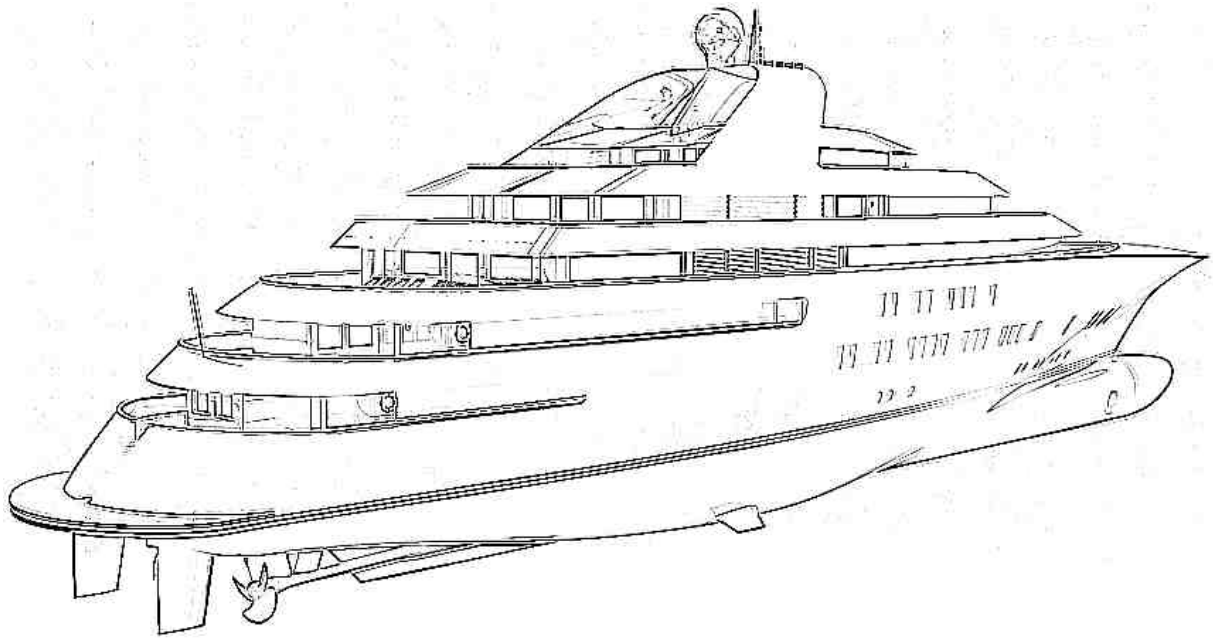


Рис. 6.28. Яхта длиной 105 м

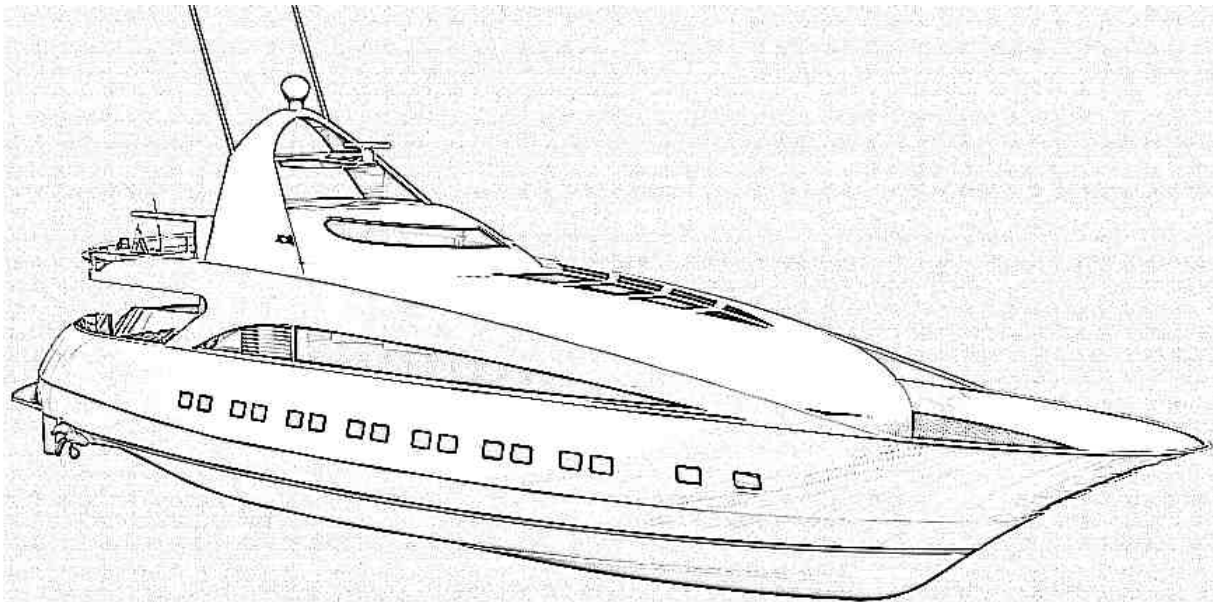


Рис. 6.29. Яхта длиной 40 м

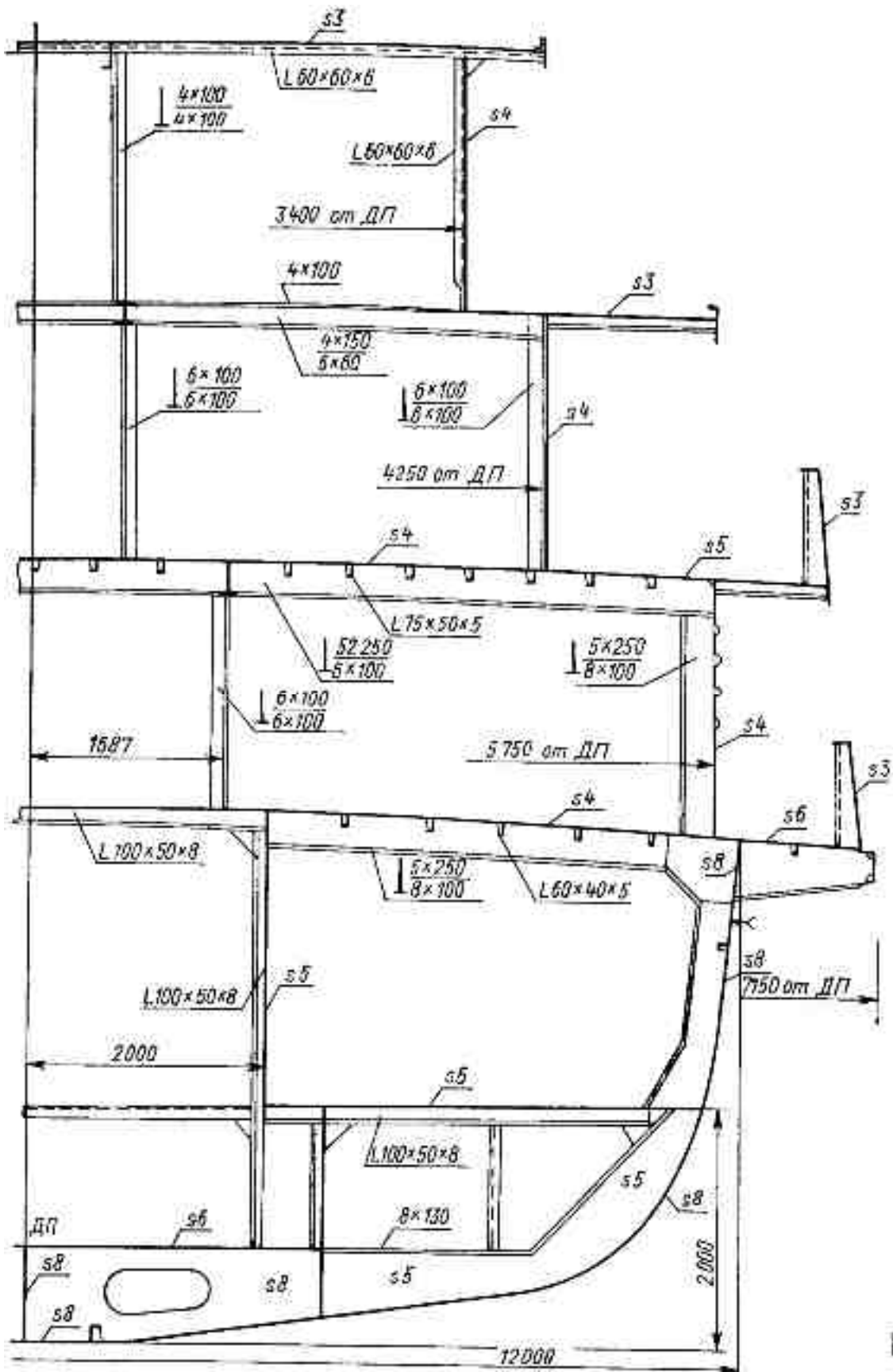


Рис. 6.30. Мидель-шпангоут речного пассажирского судна «Валерий Чкалов» /16/

7. ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СУДА

К высокоскоростным относятся суда, у которых число Фруда при эксплуатационной скорости не менее 1. К ним относятся некоторые водоизмещающие суда и суда с динамическими принципами поддержания (СДПП). В группу СДПП входят суда: глиссирующие, на подводных крыльях (СПК), на воздушной подушке (СВП), на воздушной каверне, экранопланы, а также разнообразные суда, у которых сила поддержания корпуса над поверхностью воды обеспечивается несколькими способами (рис. 7.1).



Рис. 7.1. Типы высокоскоростных судов

Конструкции СДПП во многом схожи с самолётными. Так же, как и к корпусу самолёта, к корпусу СДПП предъявляются жёсткие требования к массе. Поэтому основным материалом корпуса являются лёгкие (обычно алюминиевые) сплавы. Широко внедряются элементы конструкций из композитов. Для создания динамической силы поддержания применяются специальные устройства и элементы конструкций (у СПК – подводные крылья, у СВП – ограждение воздушной подушки, у глиссеров – реданы и т.п.).

Большие мощности двигателей и большие скорости СДПП приводят к значительным ударным и вибрационным нагрузкам. Это может вызвать повышенный износ конструкций, усталостные трещины и повреждения. Поэтому при проектировании конструкций СДПП большое внимание уделяется сглаживанию концентраций напряжений в узлах соединений, исключению жёстких точек, применению виброизоляции. Для снижения шума (особенно у амфибийных СВП и экранопланов) широко применяют звукоизоляционные панели.

Малый модуль упругости алюминиевых сплавов приводит к пониженной устойчивости продольных связей и повышению общей вибрации. Для повышения жёсткости корпуса даже у относительно небольших судов обычно применяется продольная система набора.

Малые толщины элементов и применение разнородных материалов часто не позволяют выполнить традиционную для судостроения шовную сварку конструкций. В этих случаях конструкции соединяются клёпкой, точечной сваркой, склеиванием, клееклёпкой, клеесваркой.

Шпация продольного набора скоростных судов при малой толщине обшивки требуется также небольшой (150 – 350 мм). Технологические сложности крепления набора к обшивке привели к широкому применению прессованных и трёхслойных панелей. В конструкциях из прессованных панелей для упрощения технологии соединения перекрёстных балок набора и уменьшения концентраторов напряжений широкое распространение получила навесная конструкция набора.

Наиболее широко распространены пассажирские высокоскоростные суда. Они имеют развитые надстройки с большими оконными вырезами, снижающими общую продольную прочность судна (особенно от срезающих сил). Для обеспечения прочности требуются специальные подкрепления вырезов либо исключение надстроек из общего изгиба судна путём усиления корпуса и применения подвижных соединений надстройки с корпусом.

7.1. Глиссирующие суда

С точки зрения гидродинамики на тихой воде, для достижения больших скоростей глиссирования должно применяться плоское днище. Но именно днище плоской формы сильнее всего страдает от перегрузок и сильных ударов при встрече с волнами. Кроме того, такое днище чисто структурно не приспособлено к тому, чтобы выдерживать сильные удары. Даже при умеренном волнении глиссирующим катерам приходится уменьшать свой ход, так как из-за перегрузок, возникающих при соударениях с волнами, могут подвергнуться поломке внутренние связи корпусов. Часто ломаются шпангоуты в носовой части катера, появляются трещины в днище.

Для снижения ударных нагрузок при сохранении быстроходности применяются различные формы обводов глиссирующих судов (рис. 7.2).

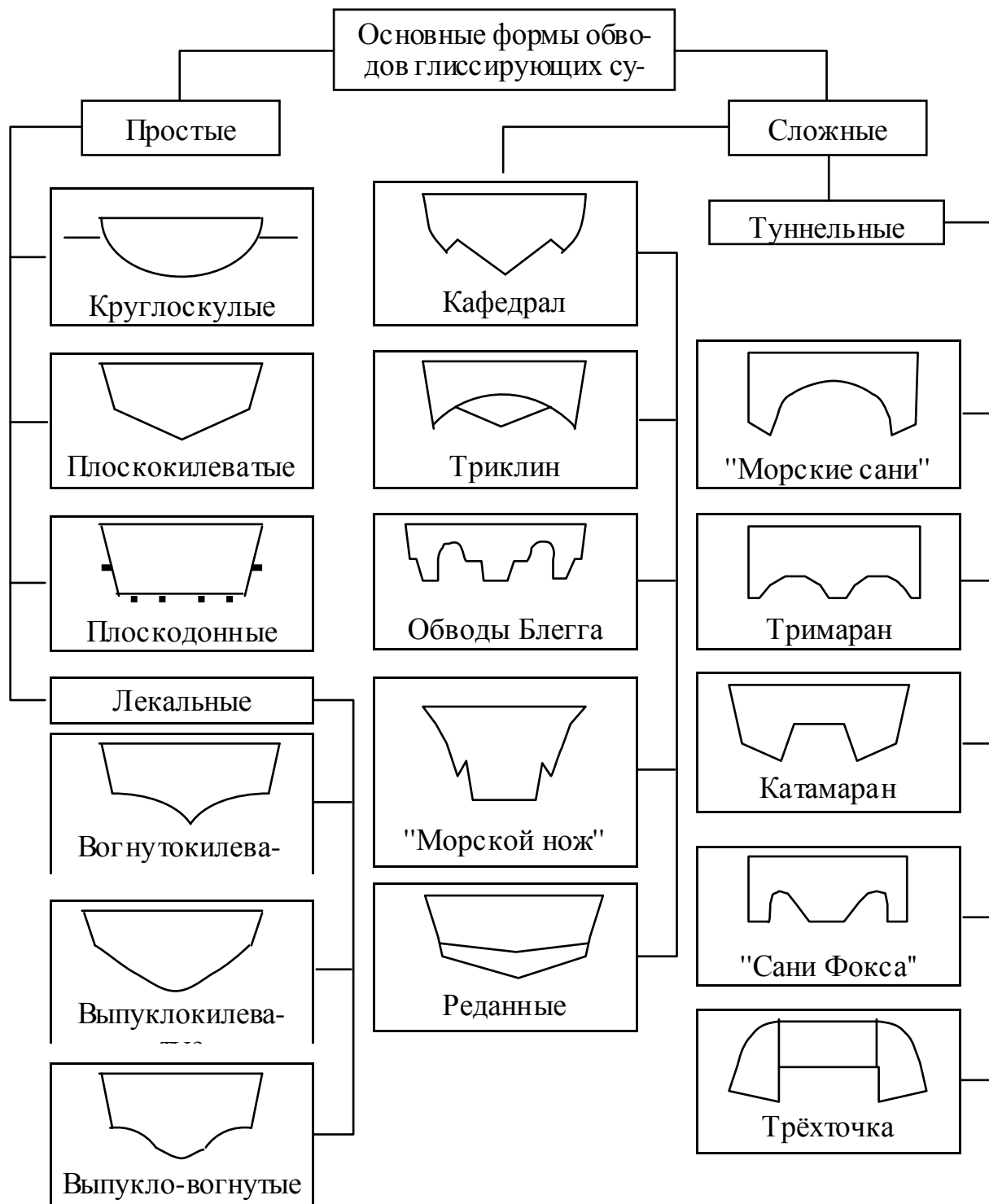


Рис. 7.2. Классификация корпусов глиссирующих судов /19/

Большинство глиссирующих катеров в нашей стране изготавливается с корпусами из легких сплавов – дюралюминия (при клепаной конструкции)

и алюминиево-магниевых сплавов (при использовании сварки). В последнее время растёт доля судов из композиционных материалов.

На рис. 7.3 – 7.5 приведены примеры глиссирующих судов.

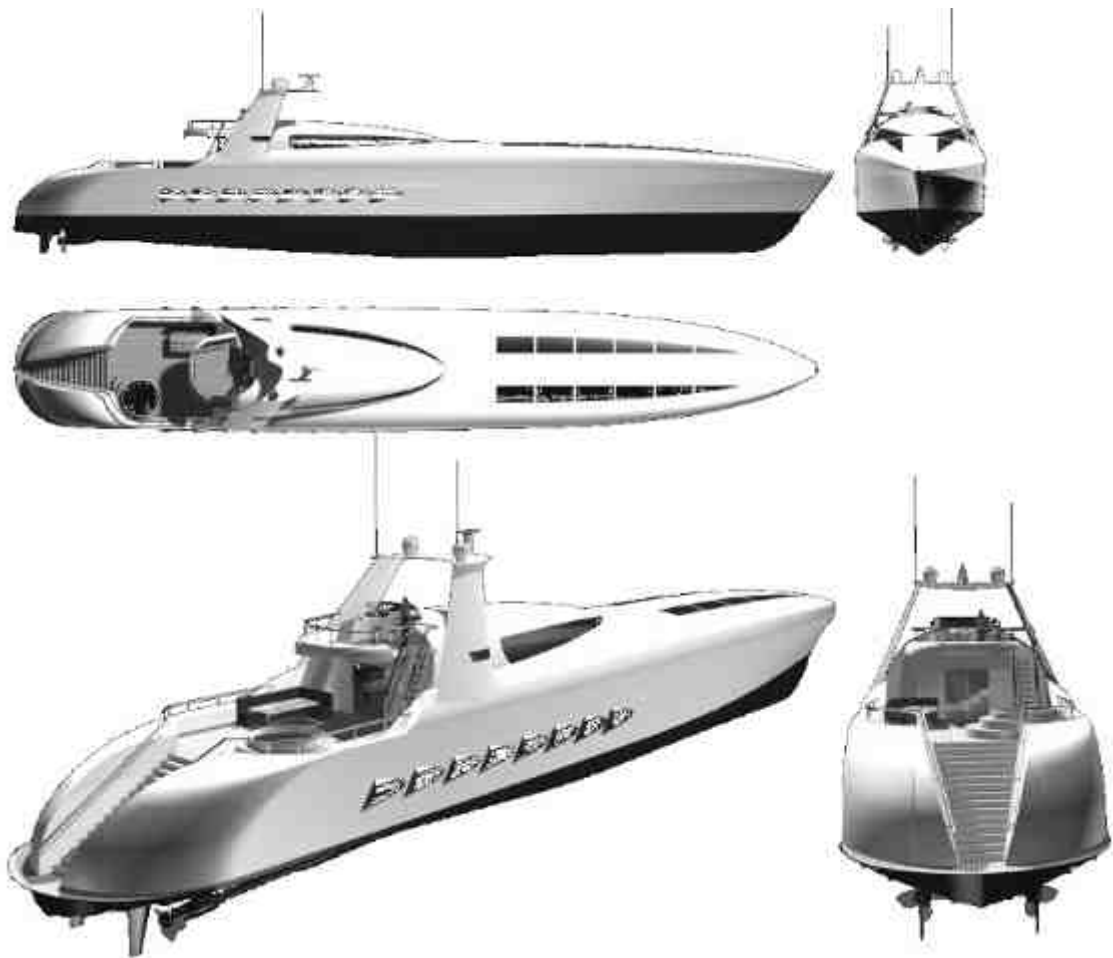


Рис. 7.3. Глиссирующая моторная яхта /23/



Рис. 7.4. Глиссирующее речное пассажирское судно «Заря»

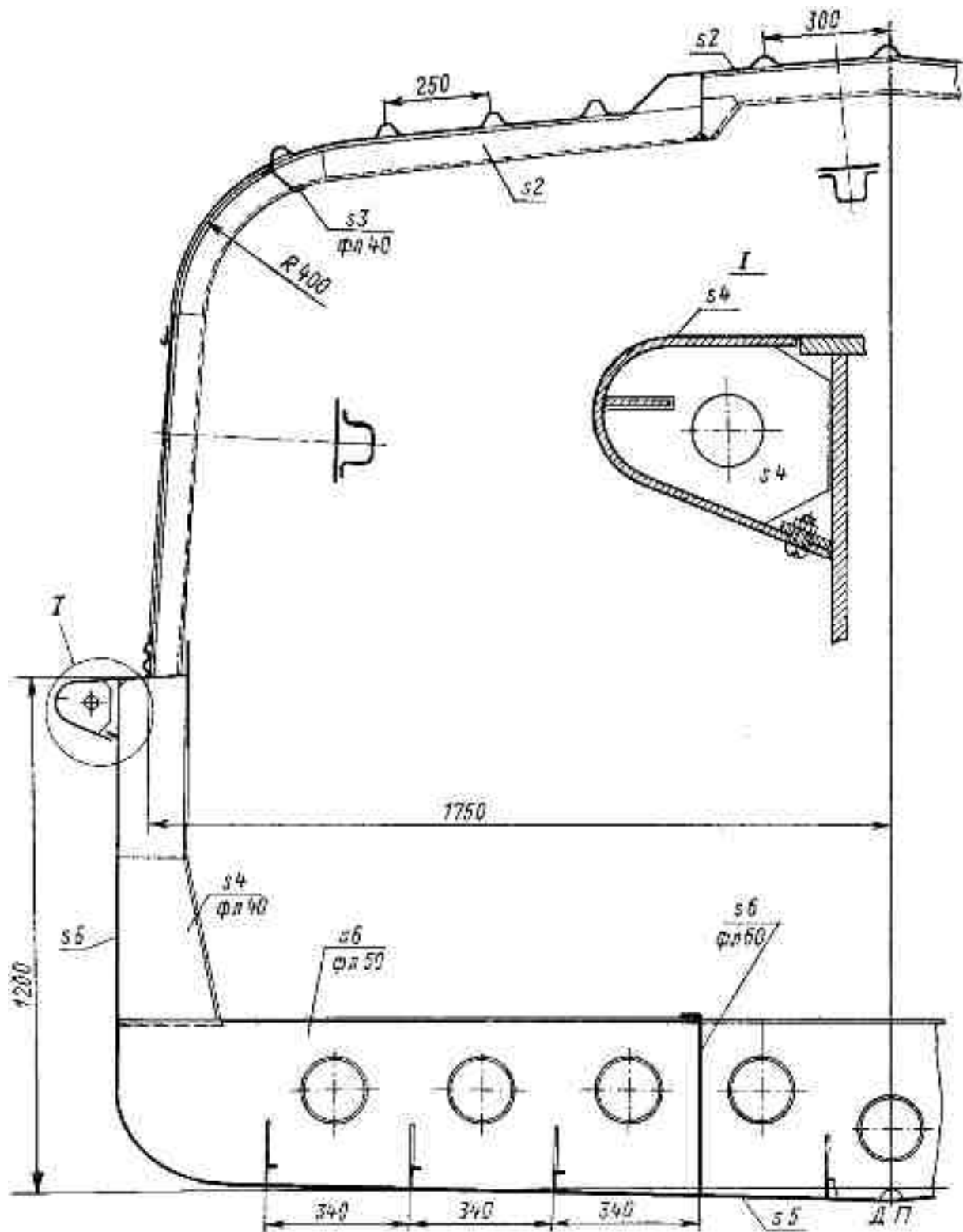


Рис. 7.5. Мидель-шпангоут судна «Заря» /16/

7.2. Суда и корабли на подводных крыльях

Первые суда на подводных крыльях (СПК) были построены в 1905 – 1906 гг. Однако широкое применение СПК началось с 50-х годов XX в. В нашей стране основную роль в создании «флота на крыльях» сыграли разработки конструктора Р. Е. Алексеева. Его суда «Ракета» начали серийно строиться с 1957 г., и до сих пор их можно встретить на реках России.

СПК имеет преимущество над глиссирующими судами в связи с тем, что подъёмная сила, возникающая на подводном крыле, почти вдвое больше, чем на таком же по размерам глиссирующем днище.

Для стабильного движения на крыльях необходимо регулирование подъёмной силы при изменении скорости и подъёма судна над поверхностью воды. У этажерочных крыльев (система Э. Форланини, 1905 г.) подъёмная сила автоматически регулируется погружением отдельных крыльев или выходом их на поверхность (рис. 7.6, а). В системе с V-образными полупогруженными крыльями (система Крокко и Рикальдони, 1906 г.) происходит плавное регулирование за счёт наклона крыльев к поверхности воды (рис. 7.6, б). У глубоко погруженных крыльев, характерных для мореходных судов (рис. 7.6, в), подъёмная сила регулируется изменяемым углом атаки (система К. Гука). У многих судов применяется комбинация крыльев различных типов (рис. 7.8, 7.9).

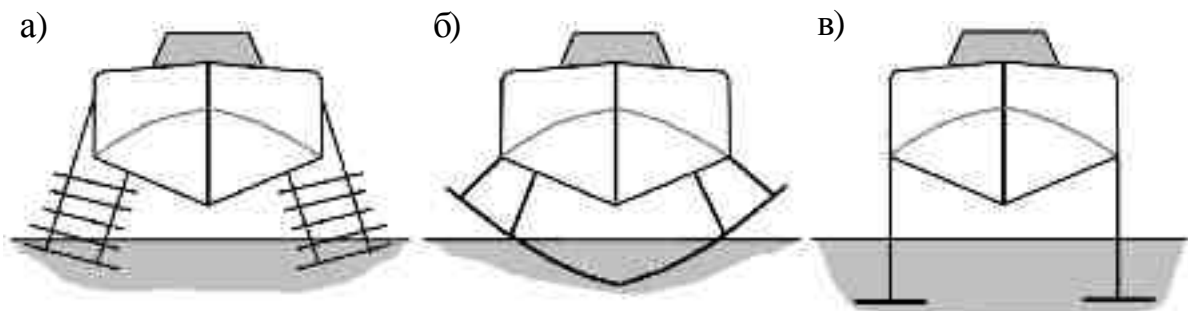


Рис. 7.6. Типы крыльевых устройств: а – этажерочный; б – V-образный; в – с глубоко погруженными крыльями

У речных СПК применяются обычно малопогруженные крылья, причём носовая и кормовая системы крыльев нагружены примерно одинаково (рис. 7.7, а, 7.10). В условиях волнения крылья должны быть погружены как можно глубже, чтобы по возможности избежать влияния волн. Поэтому у морских судов обычно применяются крылья или закрылки с регулируемым углом атаки. Наряду с компоновкой типа «тандем», у морских СПК часто применяется компоновка «утка» (реже – самолётная) с основным несущим крылом и передним (задним) стабилизирующим крылом (рис. 7.7, 7.11 – 7.13).

Дополнительную мореходность на волнении несущим крыльям придаёт стреловидность (рис. 7.7). Для облегчения движения в переходном режиме и выхода на крылья СПК имеют глассирующие обводы и поперечные сломы днища – реданы.

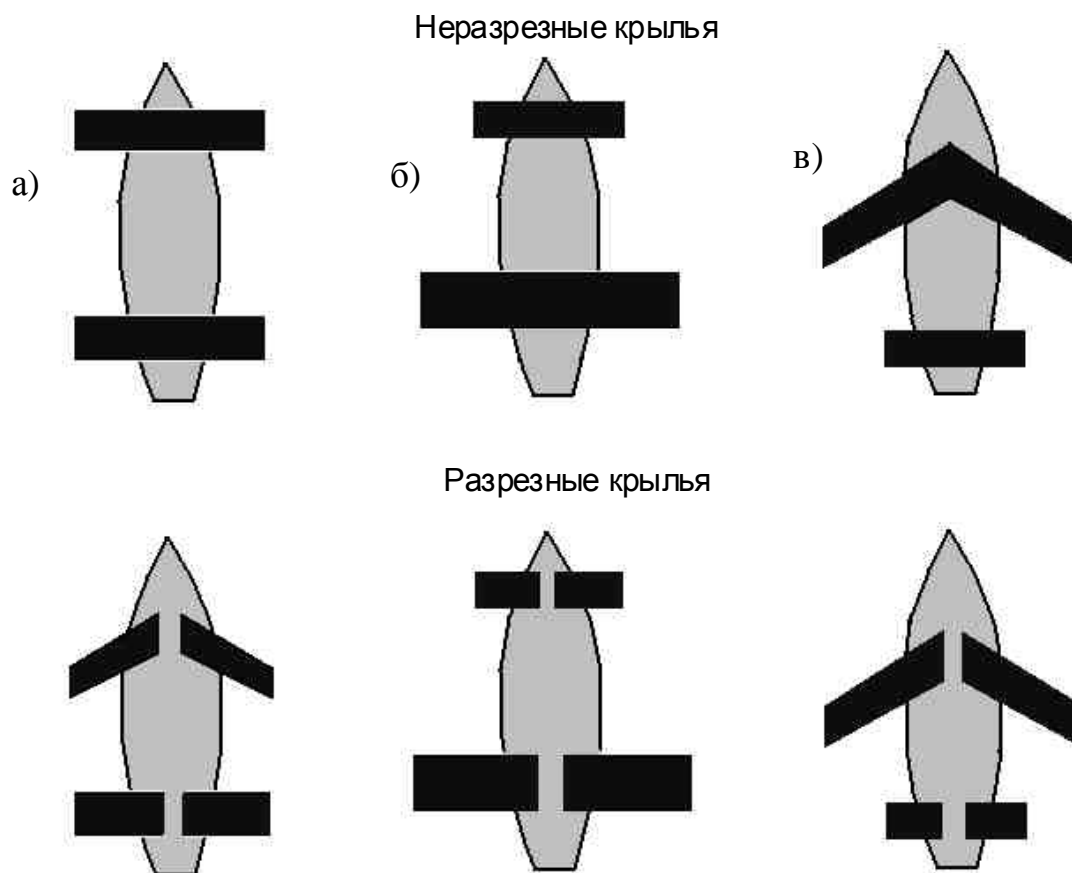


Рис. 7.7. Схемы компоновки крыльевых устройств:
а – «тандем»; б – «утка»; в – самолётная

Наибольшее распространение СПК получили в качестве пассажирских линейных судов, а также в военно-морских флотах (ракетные, патрульные, десантные и другие корабли на подводных крыльях (КПК)).

Корпус современных отечественных пассажирских СПК обычно изготавливается в виде сварной конструкции на основе прессованных панелей из алюминиево-магниевого сплава. Система набора – продольная, во многих перекрытиях – навесная. В местах действия повышенных и сосредоточенных нагрузок обшивка дополнительно подкрепляется проставышами – малыми бракетами между обшивкой и рамными балками (рис.7.14, 7.15).

Наибольшие нагрузки испытывают крылья, стойки и конструкции корпуса в районе крепления стоек крыльевых устройств. Кроме того, крыльевые устройства подвержены повышенному износу – не только от коррозии, но и от истирания о взвешенные в воде частицы (особенно у речных судов). Для этих элементов используются высокопрочные нержавеющие стали, в последнее время – угле- и боропластики.

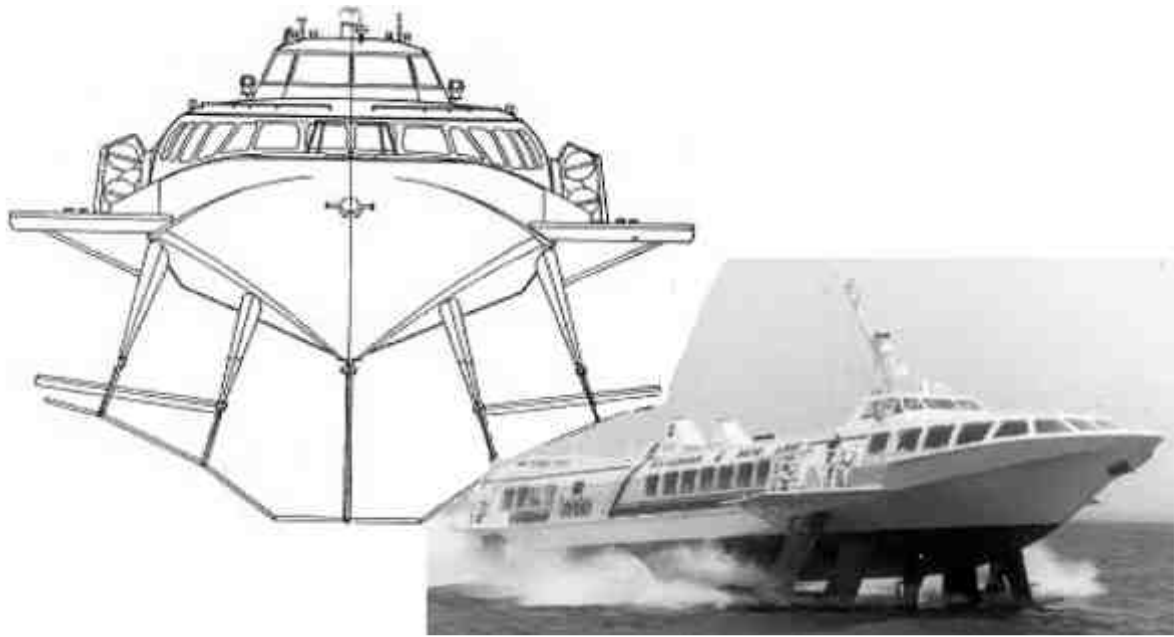


Рис. 7.8. СПК «Олимпия» /26/

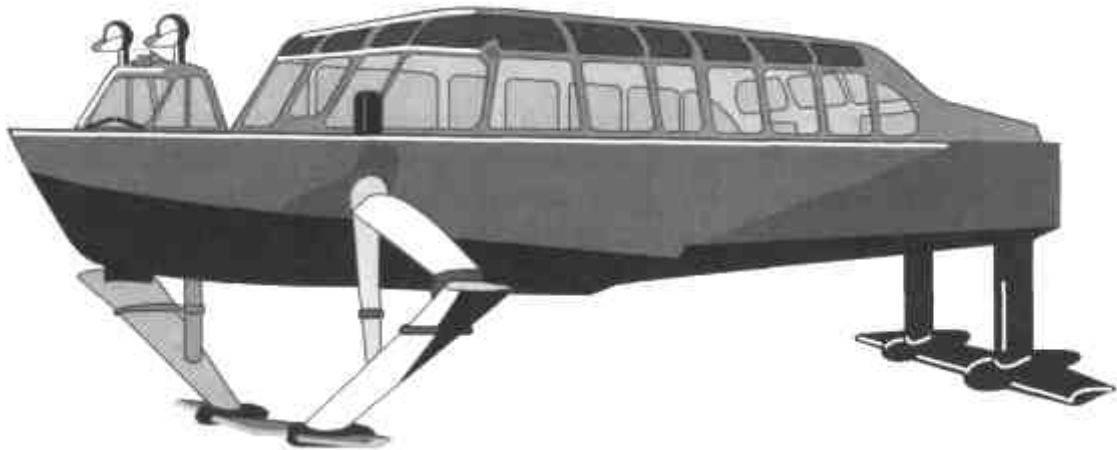


Рис. 7.9. СПК РТ10

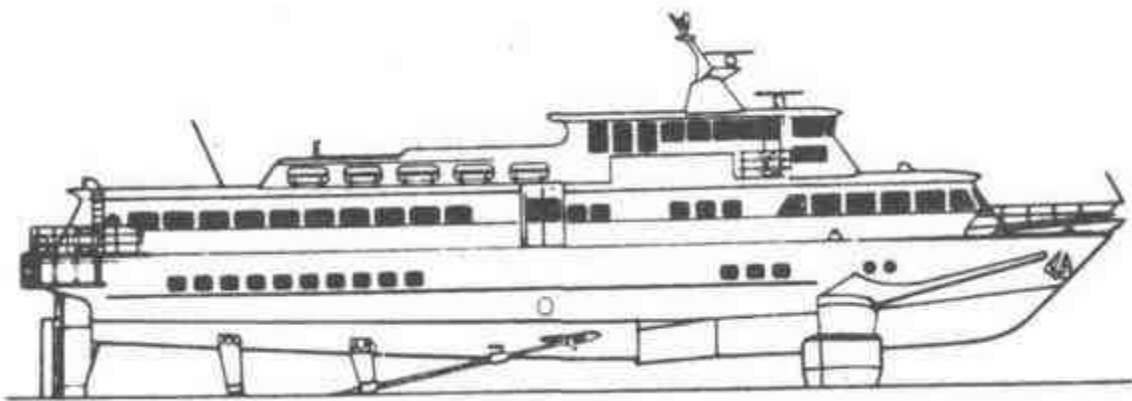


Рис. 7.10. Паром РТ150

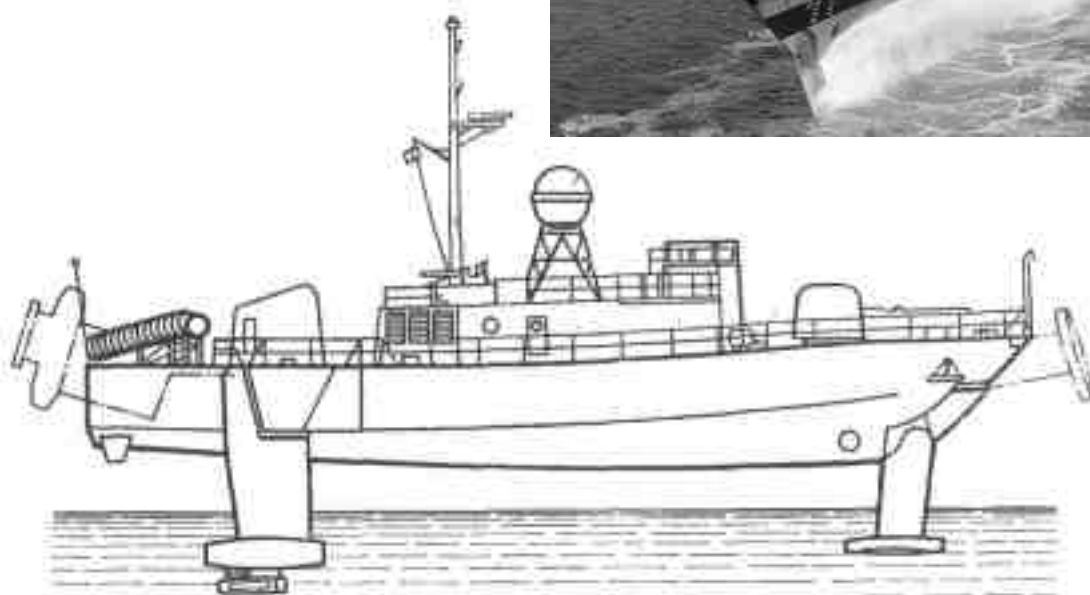


Рис. 7.11. КПК «Пегасус» (три глубокопогруженных крыла катера, управляемые с помощью электроники, расположены по схеме «утка». Они могут быть подняты из воды при движении в водоизмещающем режиме)



Рис. 7.12. КПК «Тусумсару» (США, 1968 г.) /25/

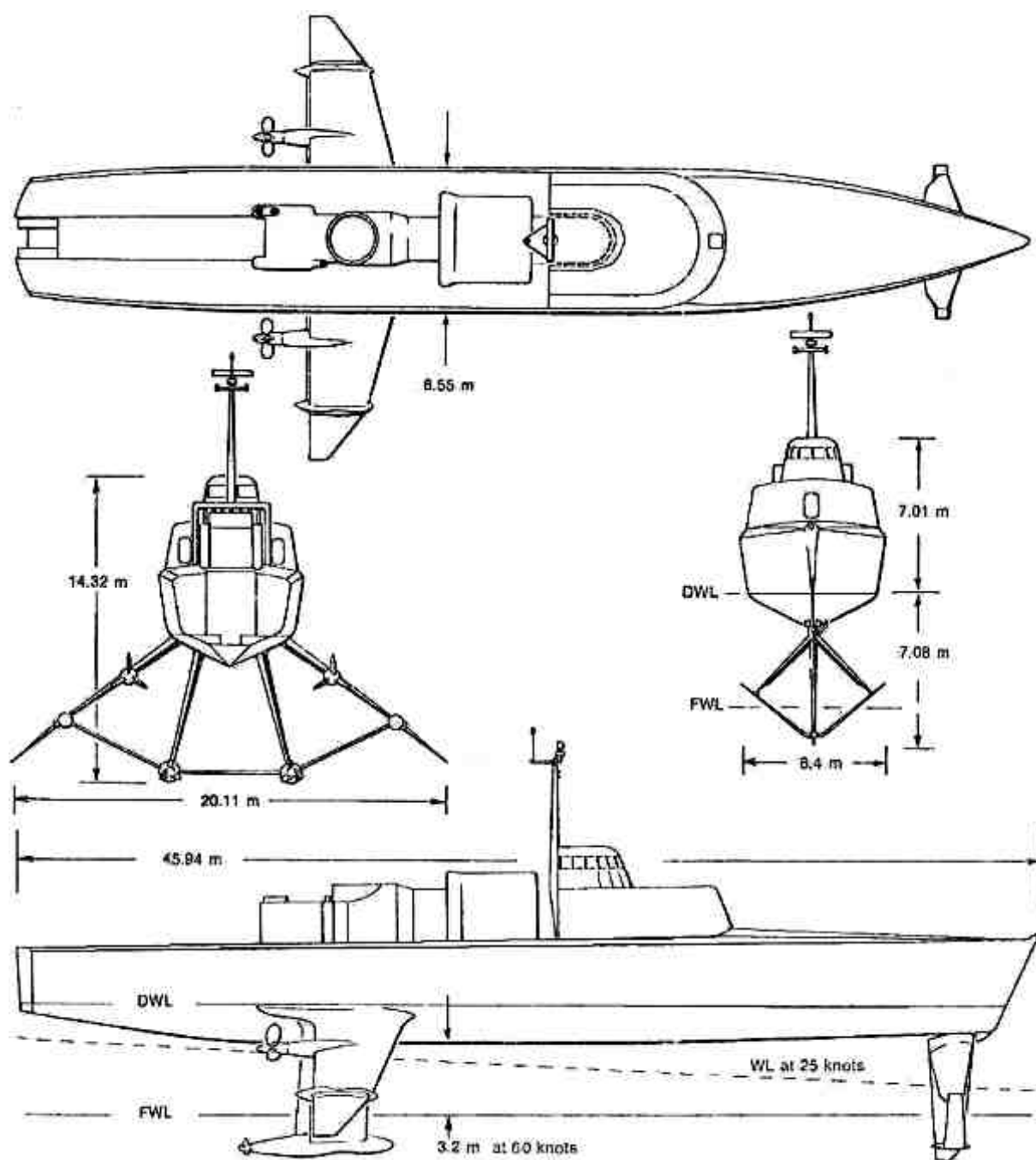


Рис. 7.13. КПК «BRAS D'OR» (Канада, 1968 г.) /25/

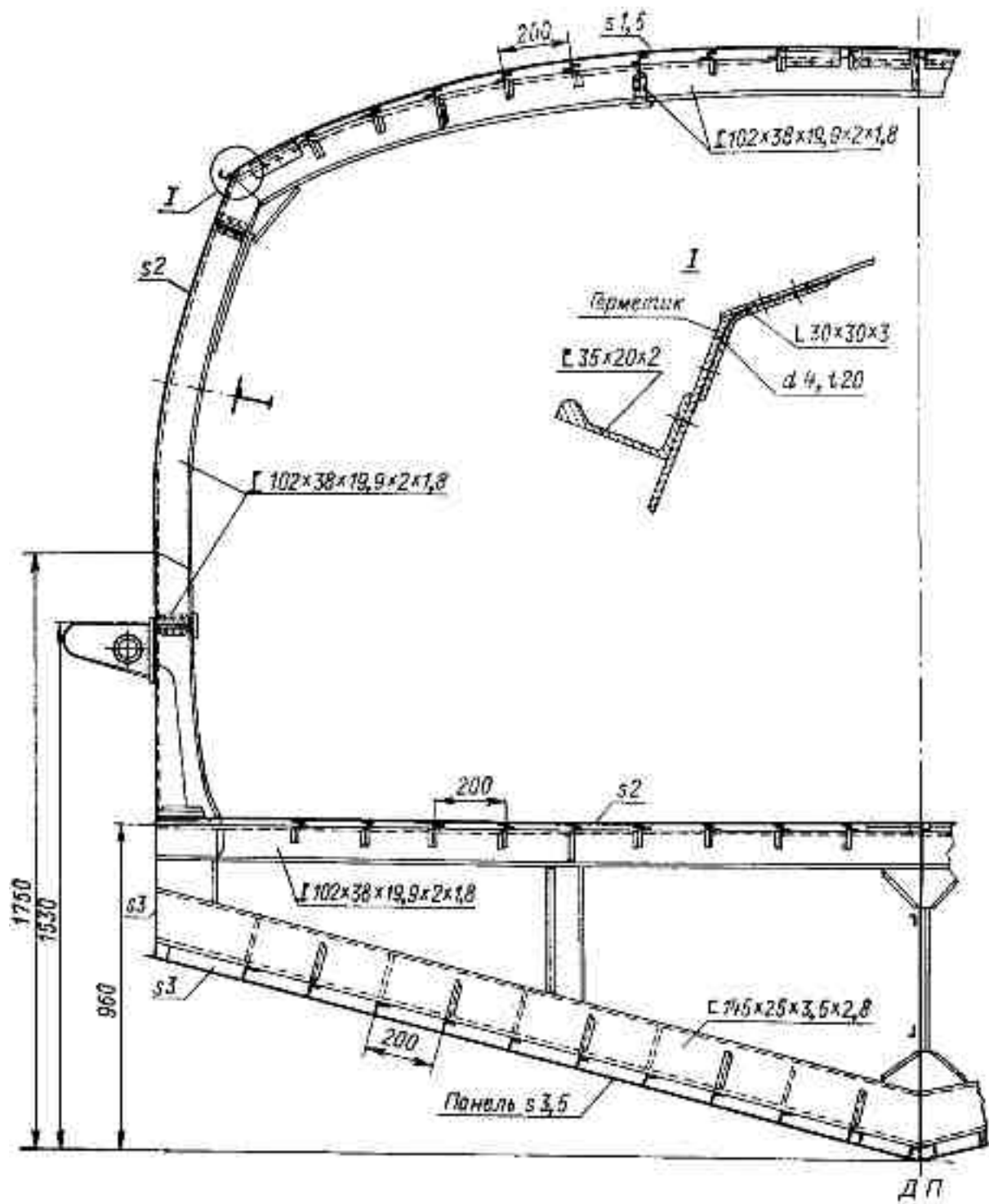


Рис. 7.14. Мидель-шпангоут речного СПК «Восход» /16/

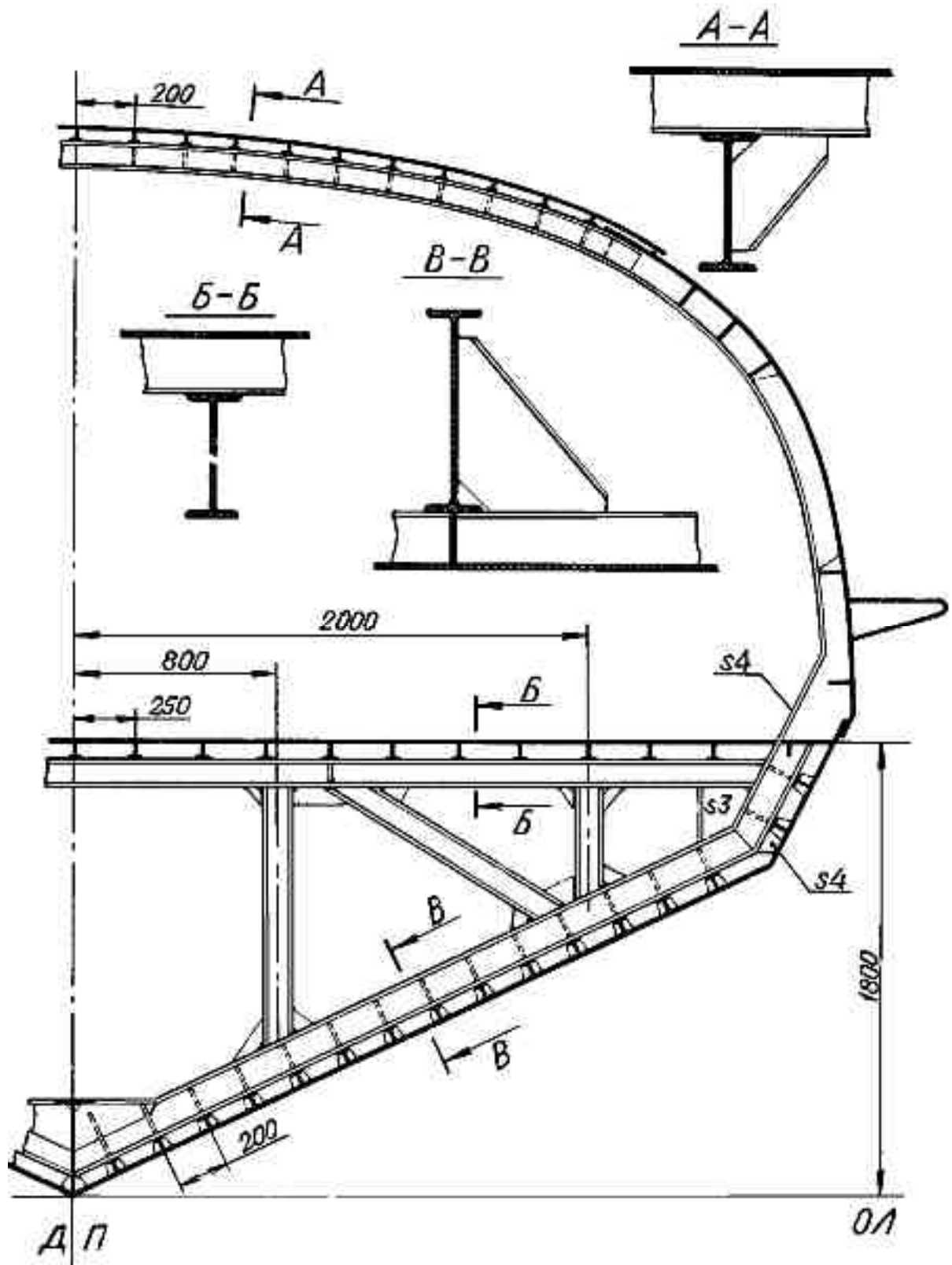


Рис. 7.15. Мидель-шпангоут СПК «Комета» /7/

7.3. Суда и корабли на воздушной подушке

В СССР первые суда на воздушной подушке (СВП) были созданы под руководством В.И. Левкова в конце 30-х годов. С 60-х годов XX в. СВП начали широко применяться в разных странах.

Подъём судна над поверхностью воды или суши позволяет увеличить его скорость до 70 – 100 уз. Однако на создание воздушной подушки (ВП) расходуется большая часть мощности двигателей, поэтому критерий массы при проектировании таких судов является основным.

Существует два основных типа СВП (рис. 7.16). *Амфибийные суда* имеют гибкое ограждение (ГО) ВП. Они полностью отрываются от поверхности, поэтому могут двигаться не только над водой, но и над сушей – по пологому побережью, в тундре, в пустыне. *Скеговые СВП* имеют жёсткое ограждение ВП (скеги) по бортам и ГО в носу и корме. Они лишь частично поднимаются над водой, однако отличаются большей экономичностью, хорошей устойчивостью на курсе и малой шумностью.

Движителями скеговых СВП являются гребные винты или водомёты, а у амфибийных судов применяются воздушные винтовые или реактивные движители.

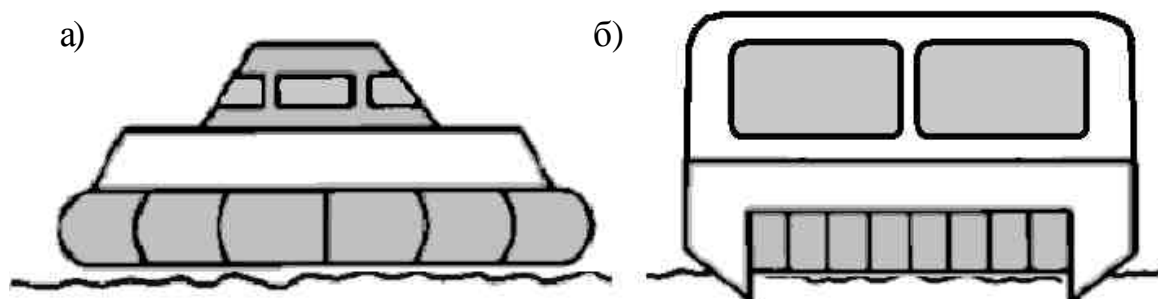


Рис. 7.16. Амфибийное (а) и скеговое (б) СВП

Схемы конструкций амфибийных СВП показаны на рис. 7.17 – 7.20.

У крупного амфибийного СВП корпус представляет собой прочный понтон плавучести с продольной системой набора, разделённый непроницаемыми поперечными и продольными переборками. Лёгкая надстройка соединена с корпусом каркасной конструкцией из трубчатых стоек и раскосов. В результате между палубой корпуса и палубой надстройки образуется невысокое пространство – жёсткий ресивер, через который воздух от заборных отверстий и проходов в надстройке подаётся нагнетателем и растекается по всему периметру корпуса к ограждению ВП. Корпус, ресивер и надстройка образуют три яруса (рис. 7.18, а).

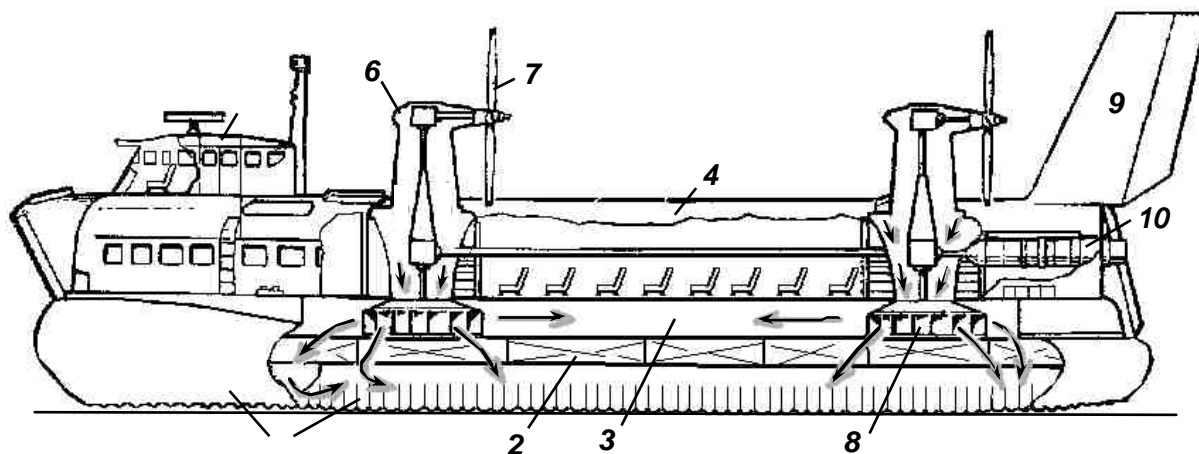


Рис. 7.17. Амфибийное СВП типа SR № 4:
 1 – гибкое ограждение; 2 – понтон плавучести (корпус); 3 – жёсткий ресивер;
 4 – надстройка; 5 – ходовая рубка; 6 – поворотный пилон; 7 – воздушный
 винт; 8 – нагнетатель воздуха в ВП; 9 – стабилизатор; 10 – газотурбинный
 двигатель

У средних СВП корпус и надстройка имеют единую палубу, а жёсткий ресивер располагается по периферии надстройки (рис. 7.18, б). У малых СВП надстройка и небольшие бортовые блоки плавучести располагаются на жёсткой горизонтальной раме (рис. 7.18, в).

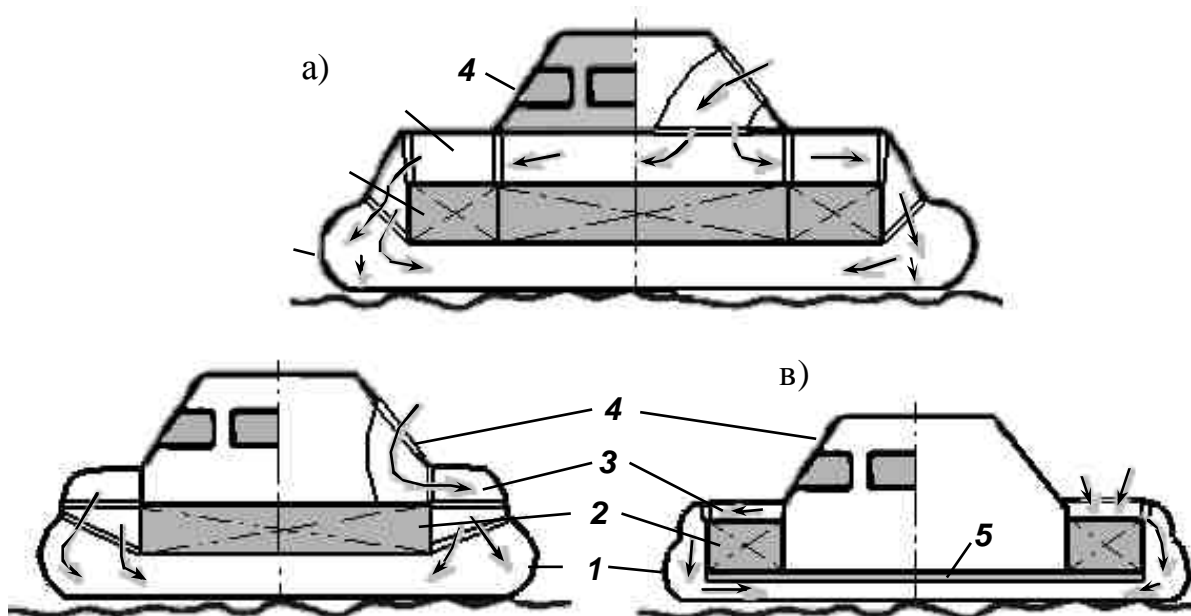


Рис. 7.18. Варианты компоновки амфибийных СВП в поперечном разрезе:
 а – трёхъярусная; б – двухъярусная; в – одноярусная;
 1 – гибкое ограждение; 2 – корпус (понтон плавучести); 3 – ресивер;
 4 – надстройка; 5 – горизонтальная рама

ГО СВП имеет композитную структуру, состоящую из нескольких склеенных слоёв. Несущие слои из синтетических тканей обеспечивают прочность ГО. Слои покрытия (из эластичных пластмасс) обеспечивают непроницаемость ГО и защищают несущие слои от истирания.

Основные конструктивные типы ГО определяются принципами образования ВП. При камерной схеме формирования ВП характерны ГО мембранного («юбочного») типа или в виде замкнутых мешков. При сопловой схеме применяются ограждения из двух стенок с надувными мешками (двухъярусного типа). Такое ГО имеет в верхней части объёмный мешок, называемый гибким ресивером, а ниже – сопловую часть, которая обычно состоит из легкозаменяемых сегментных элементов (рис. 7.21).

На рис. 7.22 представлена конструкция периферийного жесткого ресивера СВП.

Схемы конструкций скеговых СВП показаны на рис. 7.23, 7.24. При двухъярусной компоновке, характерной для морских судов, надстройка расположена над непроницаемым, разделённым переборками, корпусом (рис. 7.24, а, 7.25).

При одноярусной компоновке у судна нет деления на корпус и надстройку. Плавучесть обеспечивается либо непроницаемыми скегами, либо отдельными небольшими блоками. Такие схемы характерны для речных судов (рис. 7.24, б, в, 7.26).

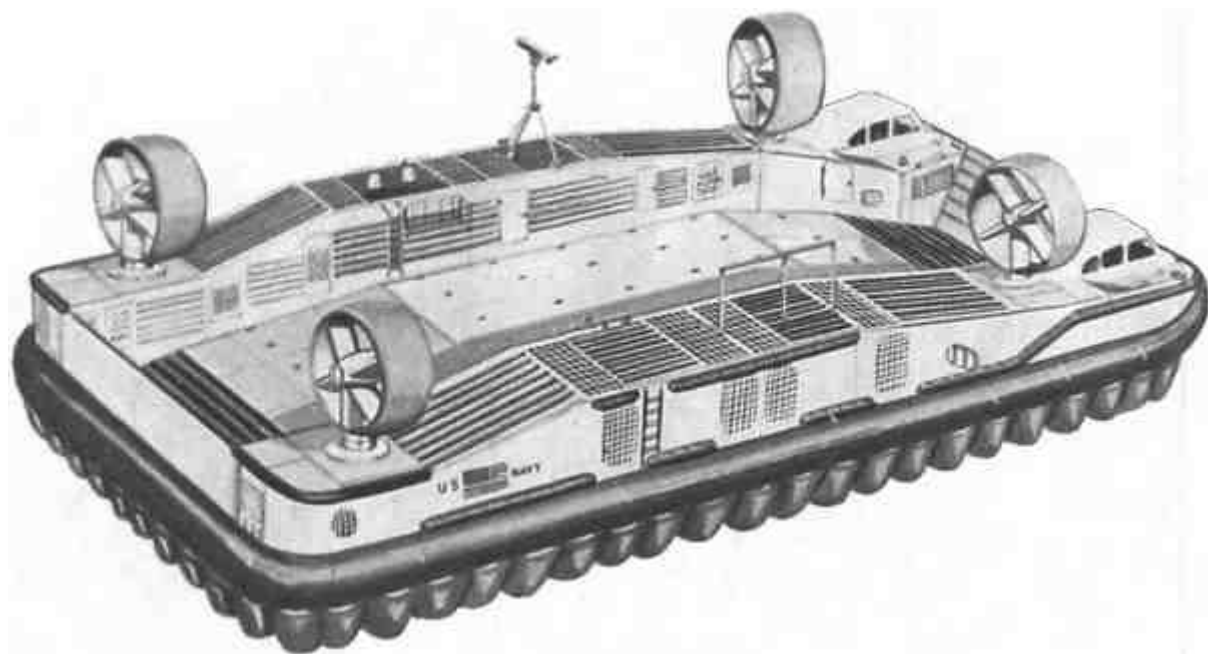


Рис. 7.19. Опытный десантно-штурмовой 160-тонный катер JEFF (США) /26/

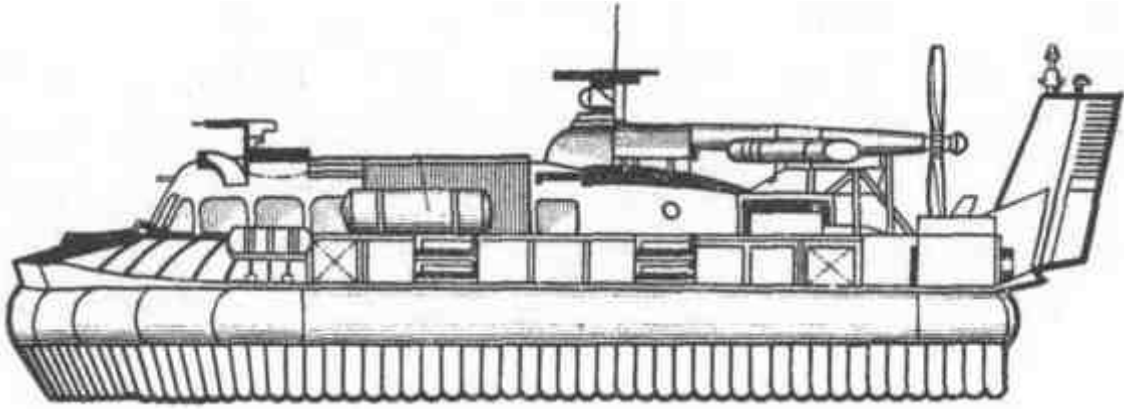


Рис. 7.20. Британское СВП береговой охраны SR № 6

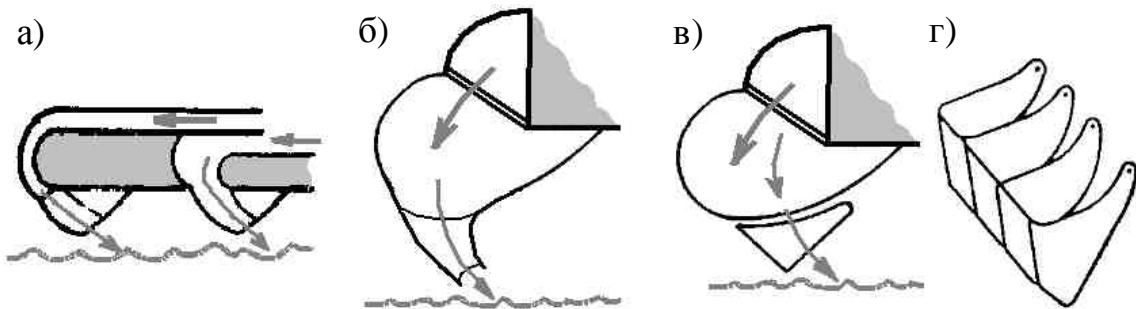


Рис. 7.21. Некоторые схемы ГО с двумя стенками:
 а – «юбочная» (с периферийным соплом и соплом остойчивости);
 б – с гибким ресивером (надувным мешком) и соплом, (разделённым вертикальными диафрагмами); в – с навесными сегментными элементами;
 г – съёмные сегментные элементы

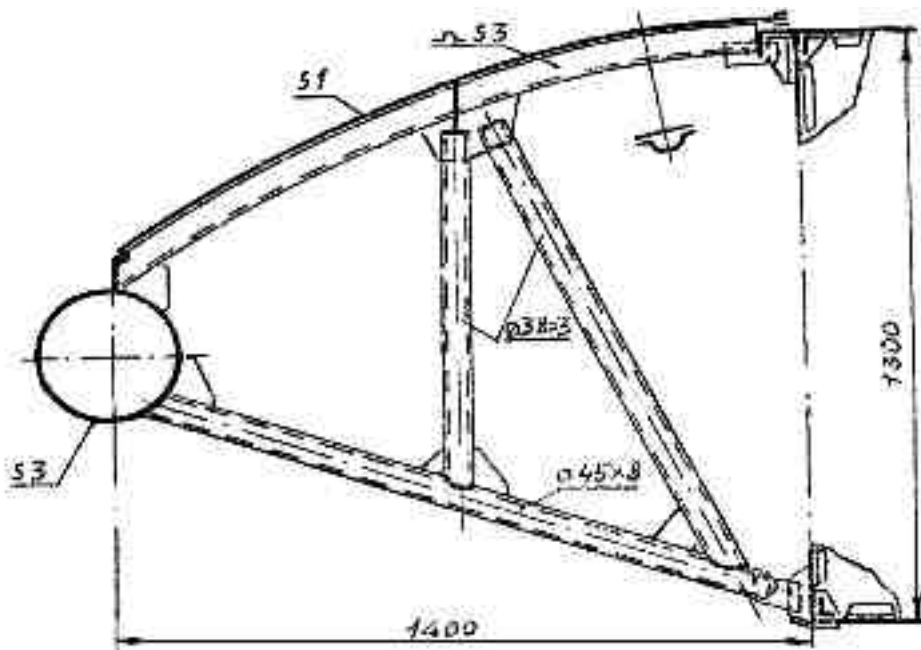


Рис. 7.22. Поперечный разрез периферийного бортового ресивера СВП

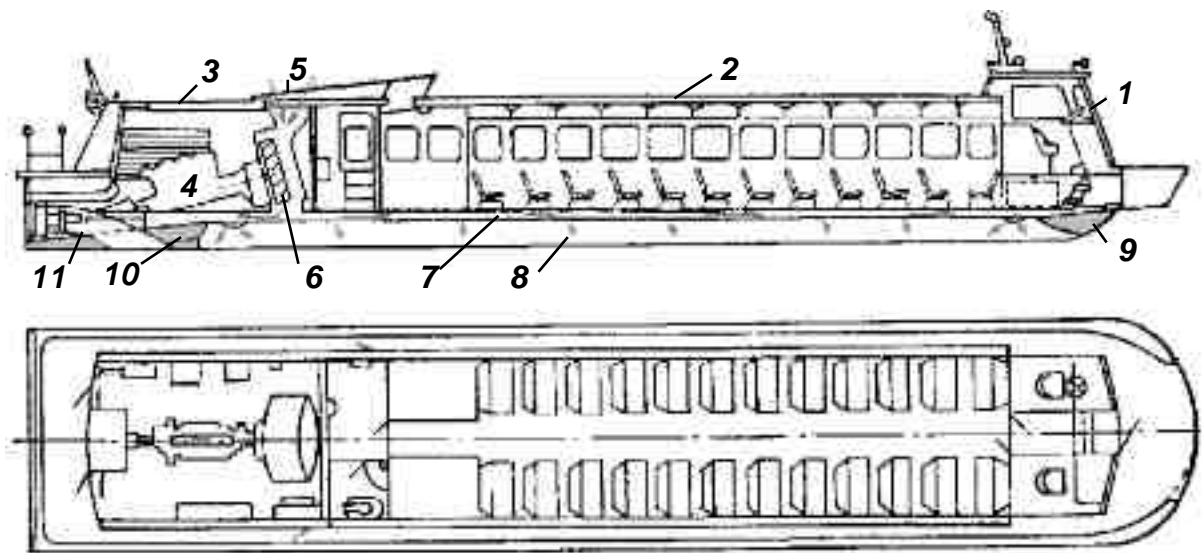


Рис. 7.23. Пассажирское речное скеговое СВП «Зарница»:
 1 – ходовая рубка; 2 – пассажирский салон; 3 – МО; 4 – главный двигатель;
 5 – воздухозаборник; 6 – нагнетатель; 7 – воздушный канал; 8 – скег;
 9 – носовое гибкое ограждение; 10 – кормовое гибкое ограждение;
 11 – водомёт

Система набора скегов и крыши надстройки обычно продольная. Гибкое ограждение в носу и корме обычно представляет собой замкнутые надувные мешки. Носовое гибкое ограждение может быть «юбочного» типа с одной стенкой.

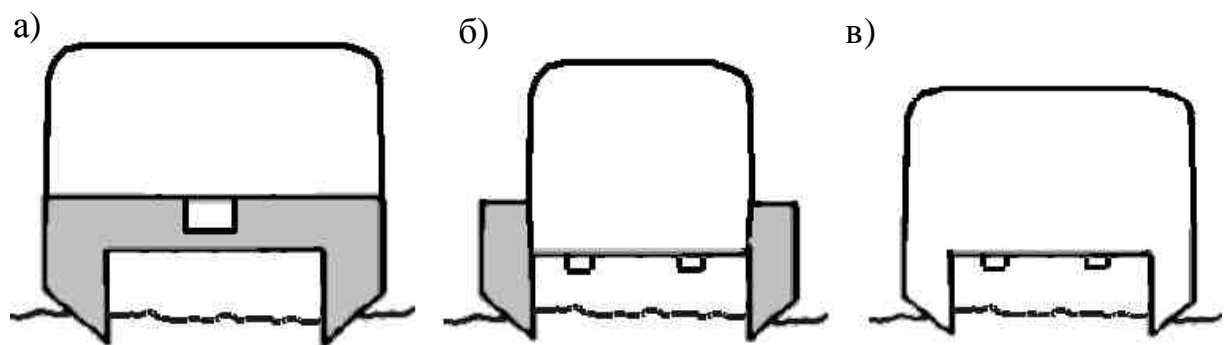


Рис. 7.24. Варианты компоновки скеговых СВП в поперечном разрезе:
 а – двухъярусная; б, в – варианты одноярусного типа

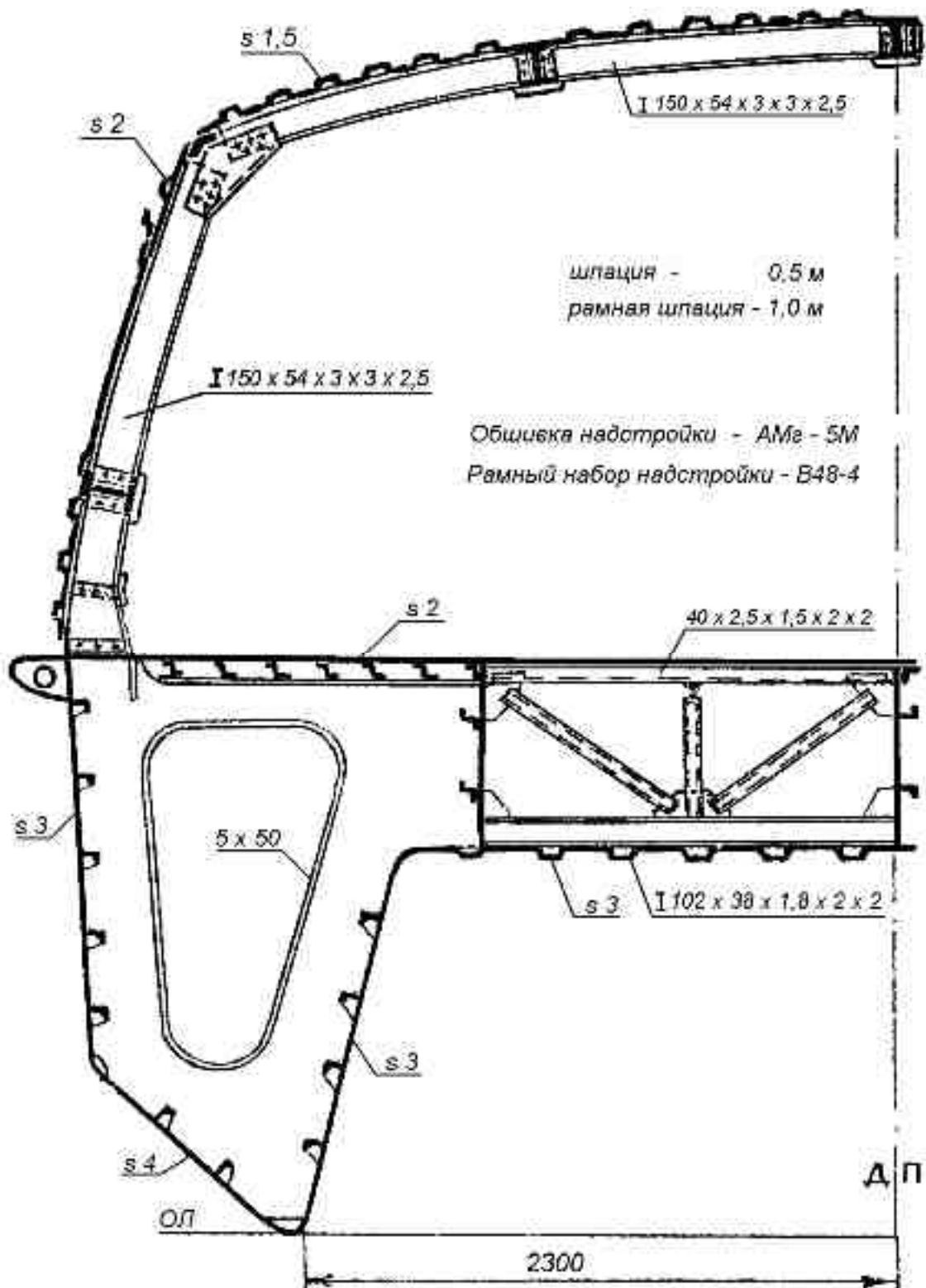


Рис. 7.25. Мидель-шпангоут скегового СВП
(автомобильно-пассажирского парома)

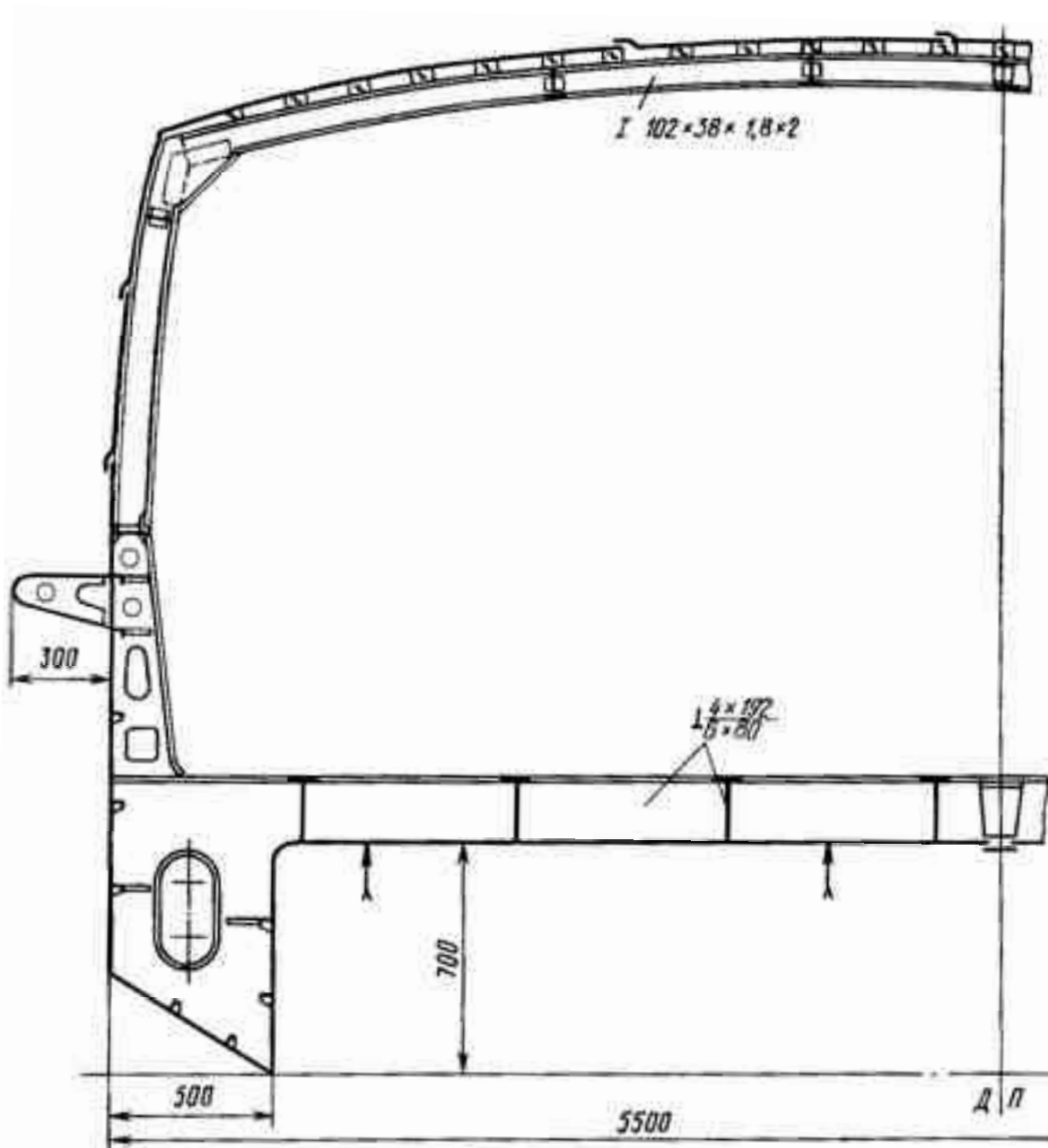


Рис. 7.26. Мидель-шпангоут речного скегового СВП «Орион» /8/

7.4. Экранопланы

Экранопланы являются быстроходными низко-высотными воздушными судами, которые используют эффект увеличения подъемной силы крыла вблизи поверхности воды (земли). Преимущества экранопланов состоят в высоком аэродинамическом качестве (35 – 50, тогда как у современных самолетов оно не превышает 15 – 20), большой скорости хода (более чем 100 узлов) и хорошей мореходности при большом водоизмещении.

Преимущества этих судов особенно проявляются при их использовании в качестве десантных кораблей и в перевозках по тундре и надо льдом (рис. 7.27 – 7.28).

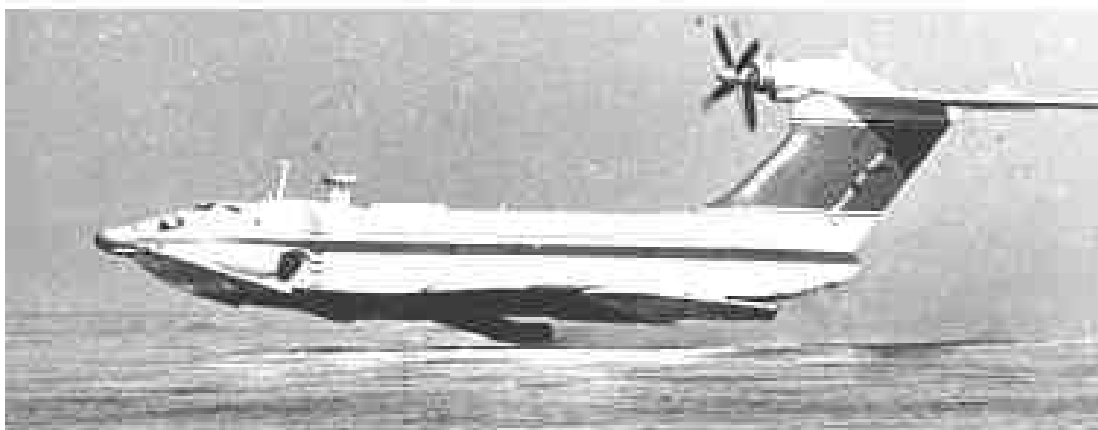


Рис. 4.27. Транспортный экраноплан «Орлёнок»



Рис. 4.28. Ракетный корабль «Лунь» /26/

К недостаткам экранопланов относят сравнительно большую взлетную скорость и невысокую мореходность, связанную с большой взлетной скоростью и низким расположением крыла. Кроме того, из-за малой высоты полета возникает опасность столкновения с препятствиями, находящимися на пути.

Эффект крыла над водой используется и у трёхкорпусных судов, корпуса которых соединены крыльями (рис. 7.29).

Разновидностью экранопланов также являются транспортные амфибийные платформы, имеющие два узких корпуса, которые слегка погружены в воду или глиссируют по ней. Набегающий поток воздуха и струи газов от передних воздушно-реактивных двигателей создают полудинамическую воздушную подушку под платформой (рис. 7.30).

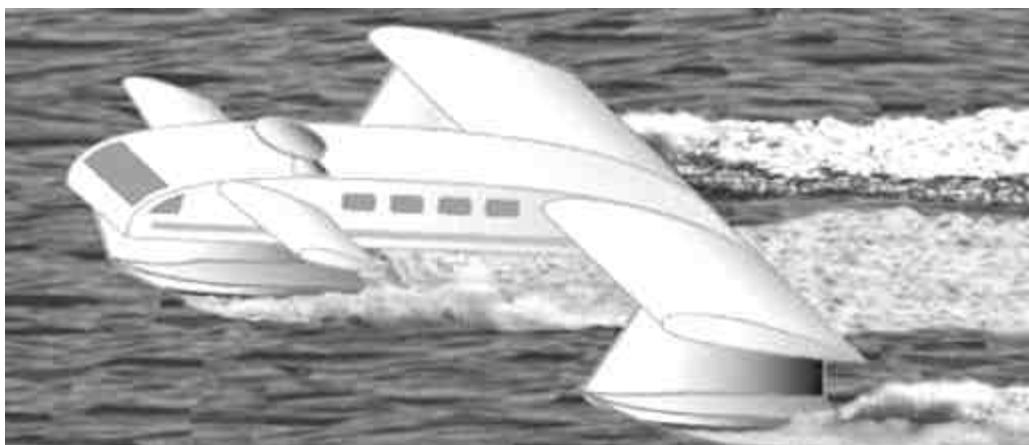


Рис. 7.29. Экраноплан-тримаран с глиссирующими корпусами



Рис. 7.30. Транспортная амфибийная платформа /26/

Экранопланы, использующие выдвижные крылья для образования дополнительной подъемной силы, западные специалисты выделяют в группу, обозначаемую WSEV (Winged Surface Effect Vehicles). По мнению разработчиков, экранопланы этого типа можно применять в качестве носителей десантно-высадочных средств, вертолетов и самолетов вертикального взлета (рис. 7.31).

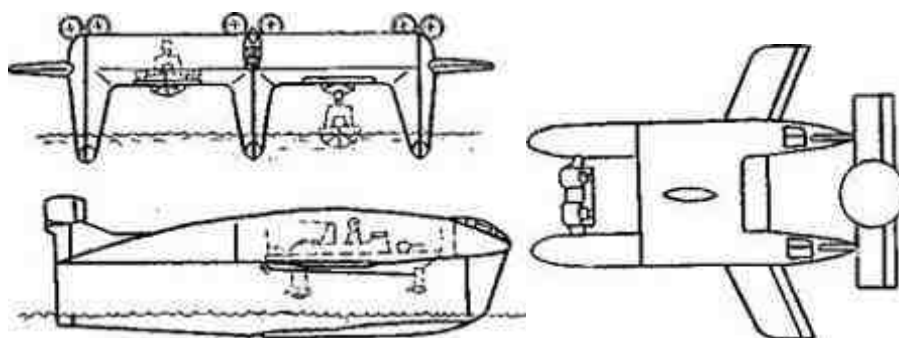


Рис. 7.31. Экраноплан типа WSEV

8. МНОГОКОРПУСНЫЕ СУДА

Суда, имеющие несколько соединённых между собой корпусов, известны с древнейших времён, однако до 60-х годов XX века они не имели широкого распространения и считались неэффективными, так как опыт постройки относительно крупных катамаранов был в основном неудачным. Действительно, по сравнению с обычными судами, катамараны более тяжёлые, имеют меньшую вместимость трюмов и повышенное сопротивление трения о воду, проблемы с компоновкой МО или необходимость дублирования энергетических установок, а также проблемы с прочностью соединительных конструкций и обеспечением благоприятных параметров качки.

Однако позднее выяснилось, что специализированные многокорпусные суда могут быть намного эффективнее однокорпусных, благодаря своим достоинствам: малому волновому сопротивлению, хорошей остойчивости, большой площади палубы. Строительство таких судов в настоящее время стало массовым.

По архитектурно-конструктивным признакам различают следующие основные типы многокорпусных судов:

- катамаран (рис. 8.1 – 8.6) – судно с двумя корпусами, соединёнными конструкцией в виде одного – двух мостов или широкой платформой (один из корпусов может быть меньших размеров – так называемый аутригер);
- тримаран (рис. 8.7, 8.10) – трёхкорпусное судно (обычно средний корпус основной, а боковые корпуса (аутригеры) имеют меньшие размеры – они обеспечивают остойчивость и необходимую ширину палубы);
- дуплус (рис. 8.8) – двухкорпусное СМПВ, имеющее верхнее строение (практически – надводный корпус) и два подводных корпуса (гондолы), каждая гондола соединена с верхним корпусом узкой стойкой, вытянутой по большей части её длины;
- трисек (рис. 8.8) – двухкорпусное СМПВ, каждая гондола которого соединена с верхним корпусом двумя стойками малой протяжённости;
- трикор (рис. 8.9) – трёхкорпусное СМПВ.

По назначению многокорпусные суда бывают: пассажирские, паромы, промысловые, контейнеровозы, СКГТ, научно-исследовательские, буксиры-толкачи, плавучие краны, буровые, вспомогательные, различные корабли ВМФ и др. Наиболее быстро развиваются высокоскоростные многокорпусные суда с малой площадью ватерлинии (СМПВ). Малая площадь ватерлинии позволяет не только дополнительно снизить волновое сопротивление судна, но и повысить его мореходность на волнении.



Рис. 8.1. Спуск катамарана – парома

Большая площадь палубы катамаранов и тримаранов позволяет компенсировать потери грузовместимости внутри корпусов и использовать их в качестве накатных или площадочных судов, упрощая грузообработку. У пассажирских судов большинство кают размещается в надстройках с естественным освещением.

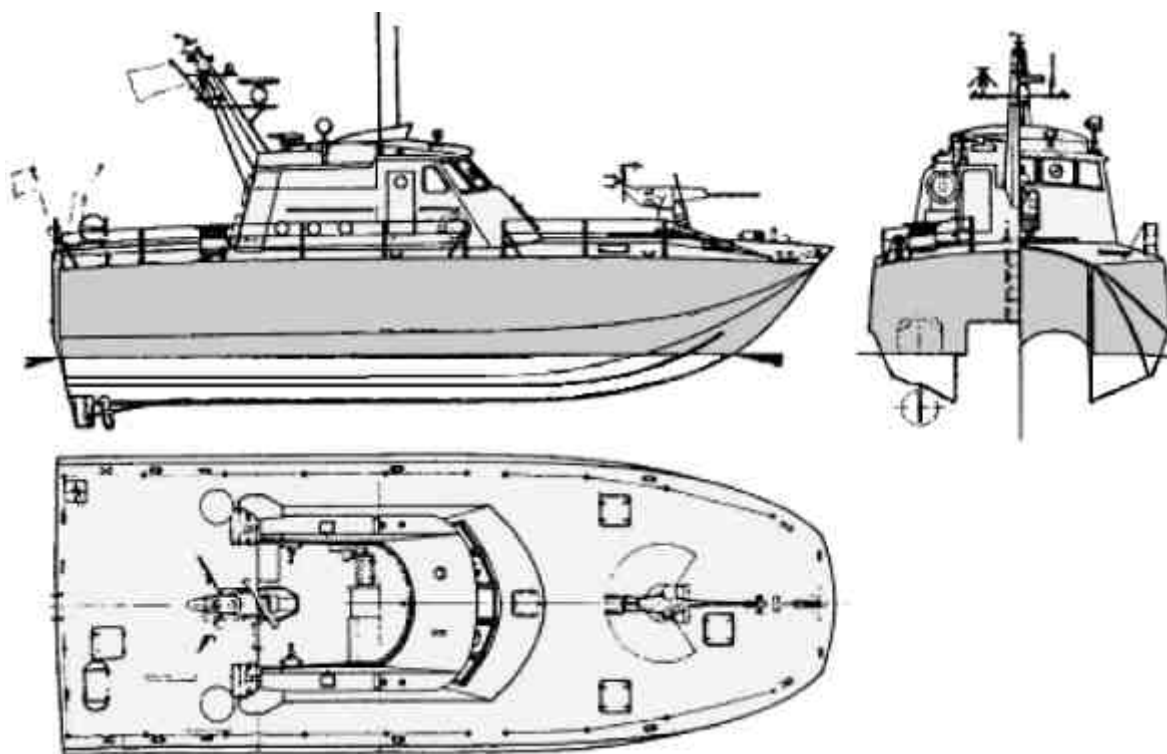


Рис. 8.2. Патрульный катер – глиссирующий катамаран

Повышенная остойчивость катамаранов эффективно используется у плавучих кранов, судов для перевозки тяжеловесных грузов, сейнеров и небольших траулеров.

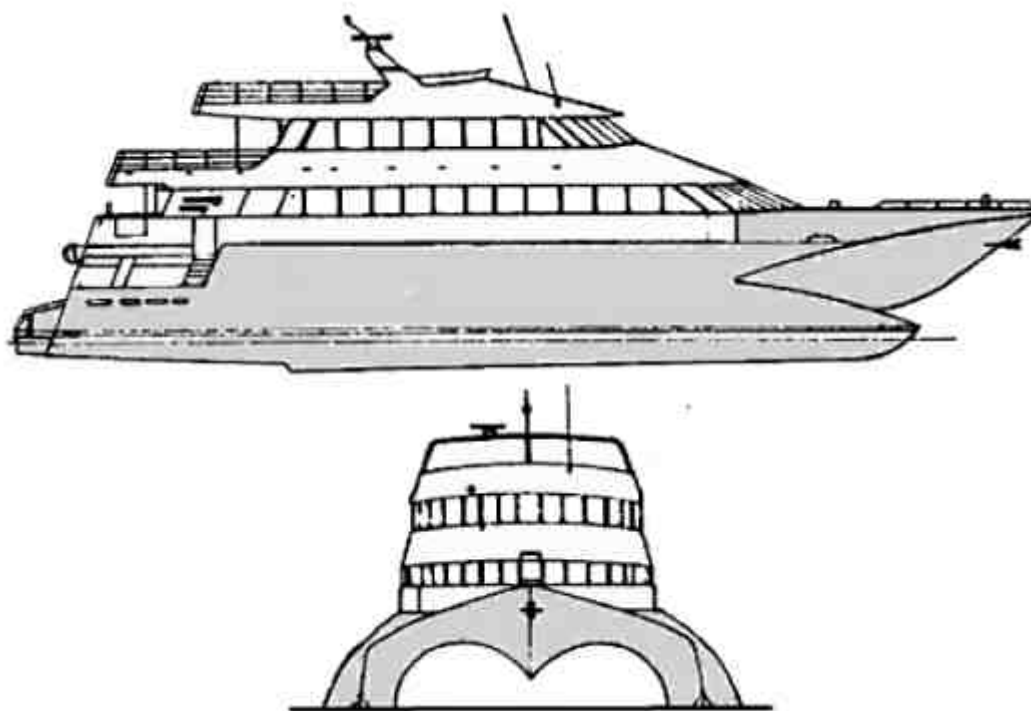


Рис. 8.3. «Пронизывающий волны» скоростной катамаран (носовая часть имеет форму, позволяющую существенно снизить удары встречных волн)

Скоростные качества в наибольшей степени реализуются у СМПВ. Дополнительное снижение сопротивления трению движению судна часто обеспечивают подводные крылья (рис. 8.4, 8.5), а иногда – воздушные карверы (рис. 8.6). Подводные корпуса СМПВ могут иметь небольшие крылья для стабилизации движения на циркуляции и успокоения качки.

Малые водоизмещающие катамараны имеют обычно поперечную систему набора корпуса. Однако с ростом длины, эксплуатационных скоростей, а также при применении для конструкций лёгких сплавов существенно возрастают нагрузки от общего продольного изгиба. В этом случае применяется продольная система набора. Помимо этого, нижний пояс эквивалентного бруса у многокорпусных судов имеет небольшую ширину, поэтому выбор в пользу продольной системы набора напрашивается в первую очередь для конструкций днища корпусов.

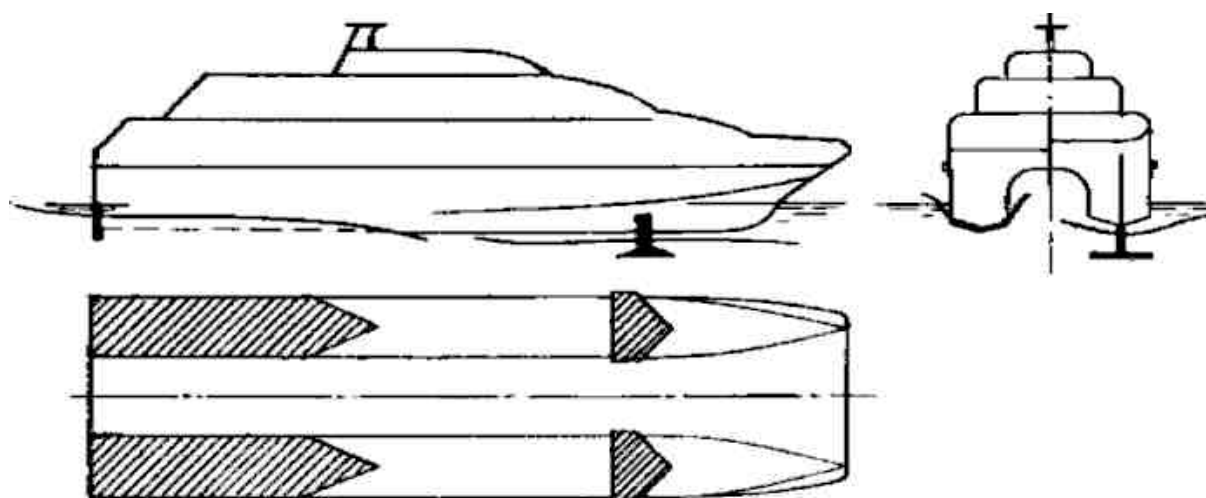


Рис. 8.4. Скоростной катамаран с автоматически управляемыми ПК в носу и интерцепторами¹ в корме

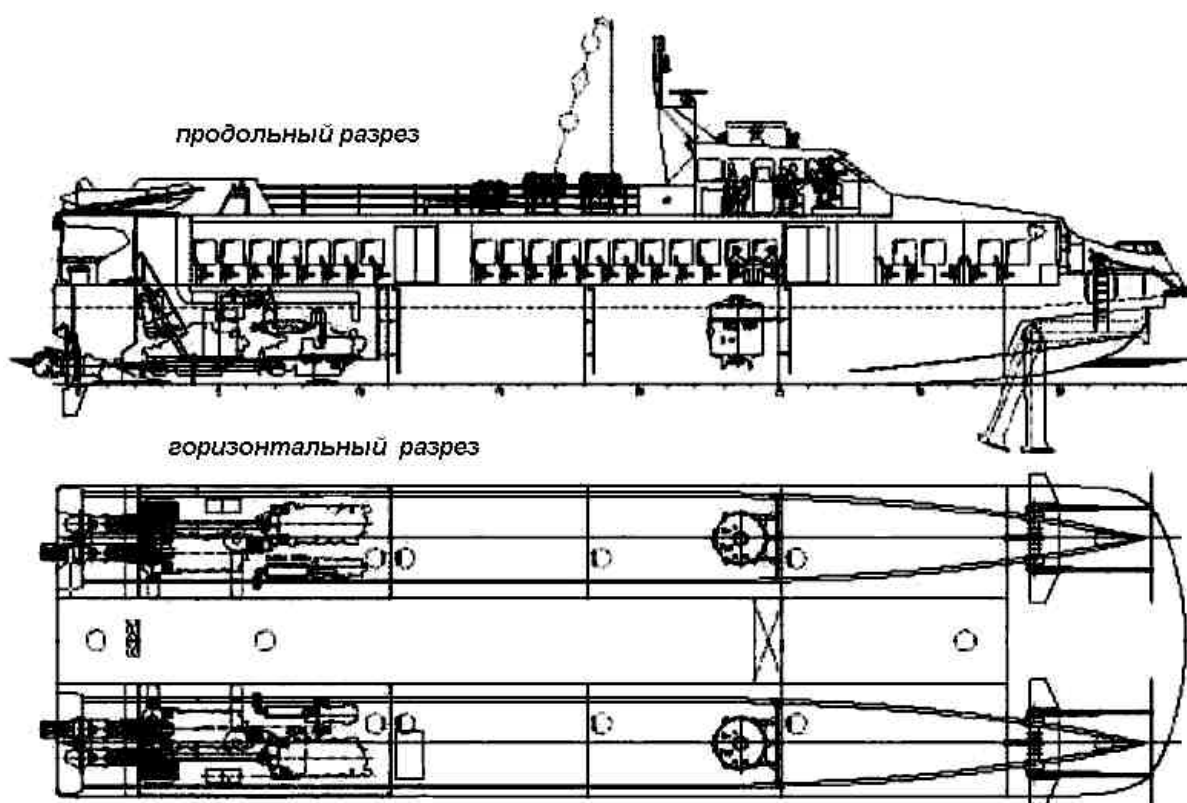


Рис. 8.5. Скоростной пассажирский катамаран с убирающимися подводными крыльями

¹ Интерцептор – пластина в корме, выдвигающаяся под углом к набегающему потоку воды для повышения эффективности глиссирования

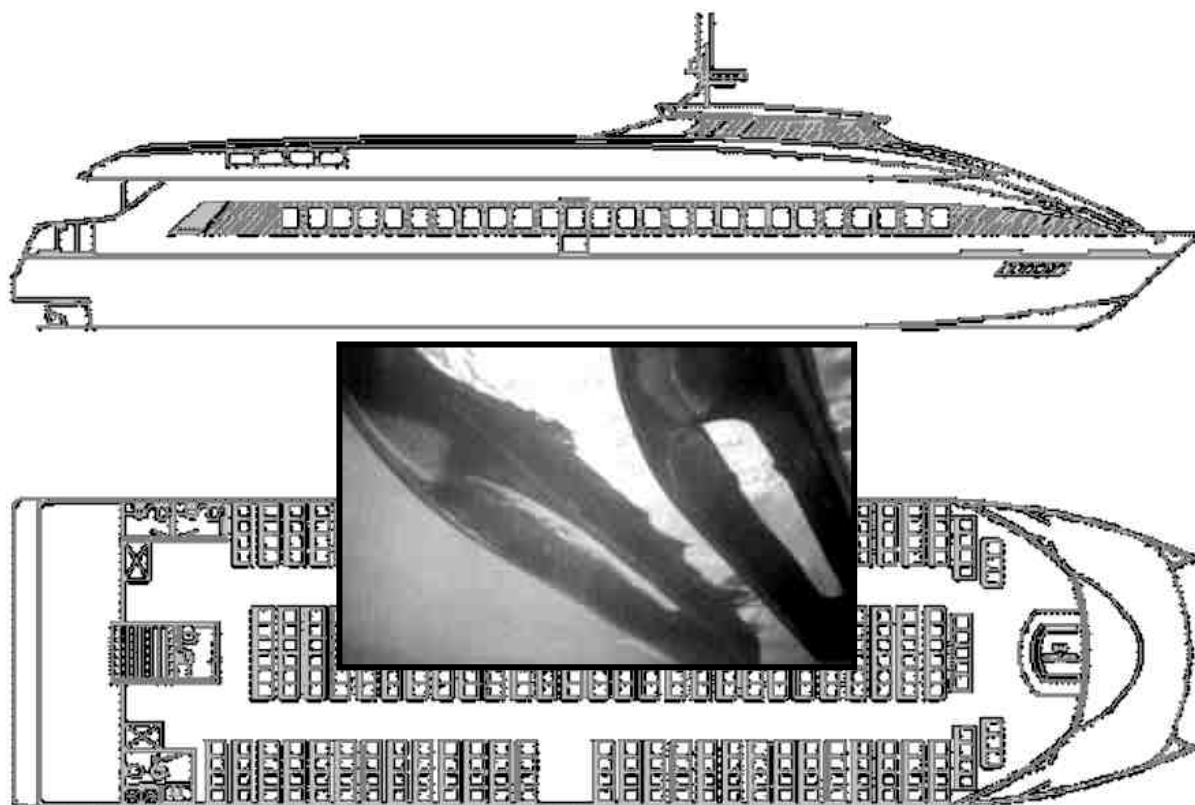


Рис. 8.6. Скоростной пассажирский катамаран с корпусами на воздушных кавернах



Рис. 8.7. Тримаран

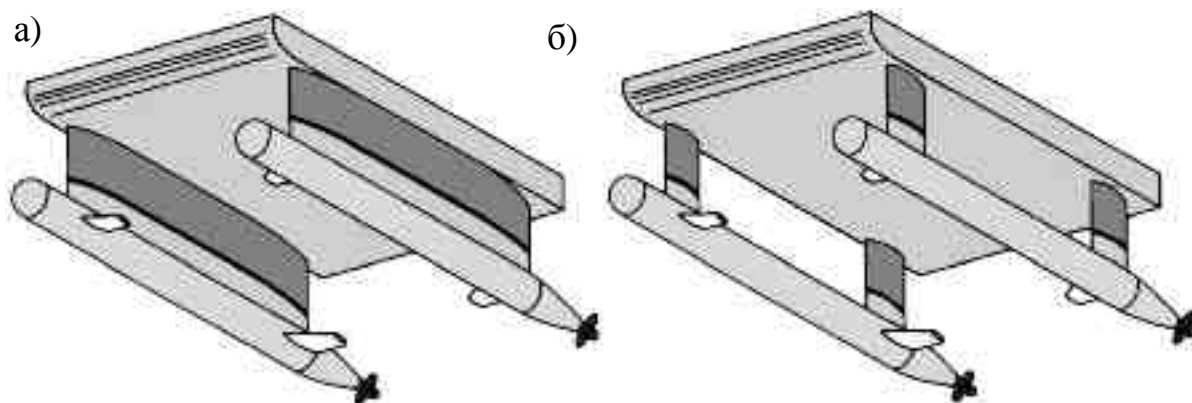


Рис. 8.8. Дуплус (а) и трисек (б)– типы двухкорпусных СМПВ

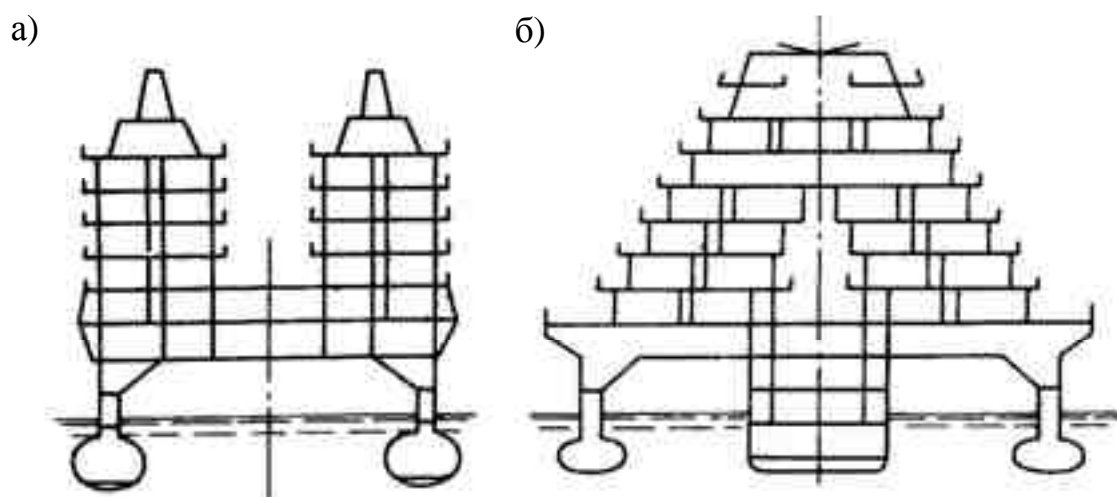


Рис. 8.9. Типы пассажирских круизных СМПВ: катамаран (а) и трикор (б) /14/

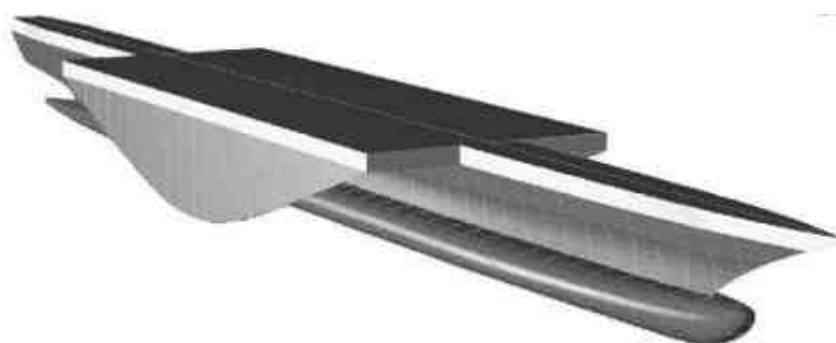


Рис. 8.10. Трёхкорпусное СМПВ с аутригерами

Большое значение для поперечной прочности таких судов имеет конструкция соединяющих корпуса мостов или верхнего строения. В связи с небольшой высотой моста между корпусами, он часто является наиболее напряжённой конструкцией, работающей на поперечный изгиб. Кроме того, соединительные конструкции могут испытывать чрезмерные удары волн. Таким образом, верхний корпус работает в условиях одновременного действия значительных волновых нагрузок, вызывающих продольный и поперечный изгиб, и ударных нагрузок от слеминга. Выбор системы набора соединительных конструкций зависит также от их протяжённости по длине и ширине.

На рис. 8.11 – 8.13 представлены примеры конструкций многокорпусных судов.

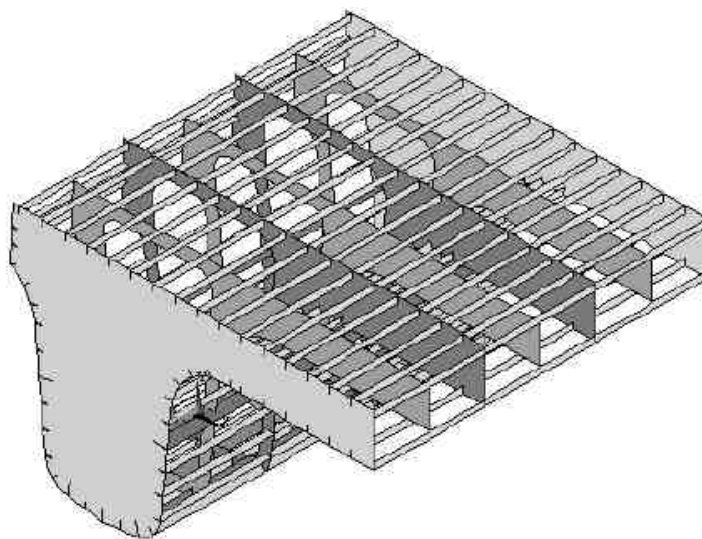


Рис. 8.11. Продольная система набора корпуса катамарана (относительно ДП симметрично)

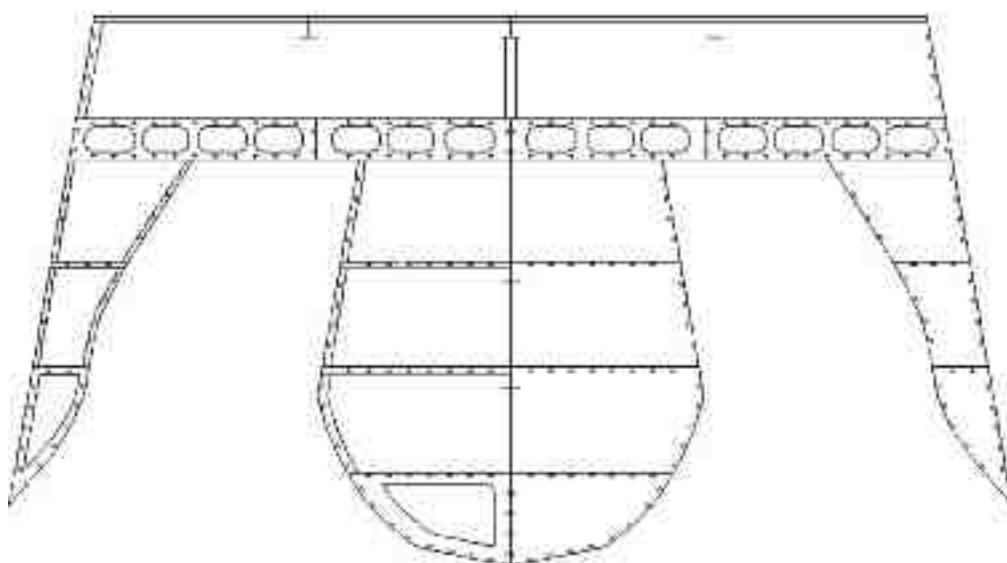


Рис. 8.12. Схема мидель-шпангоута тримарана /22/

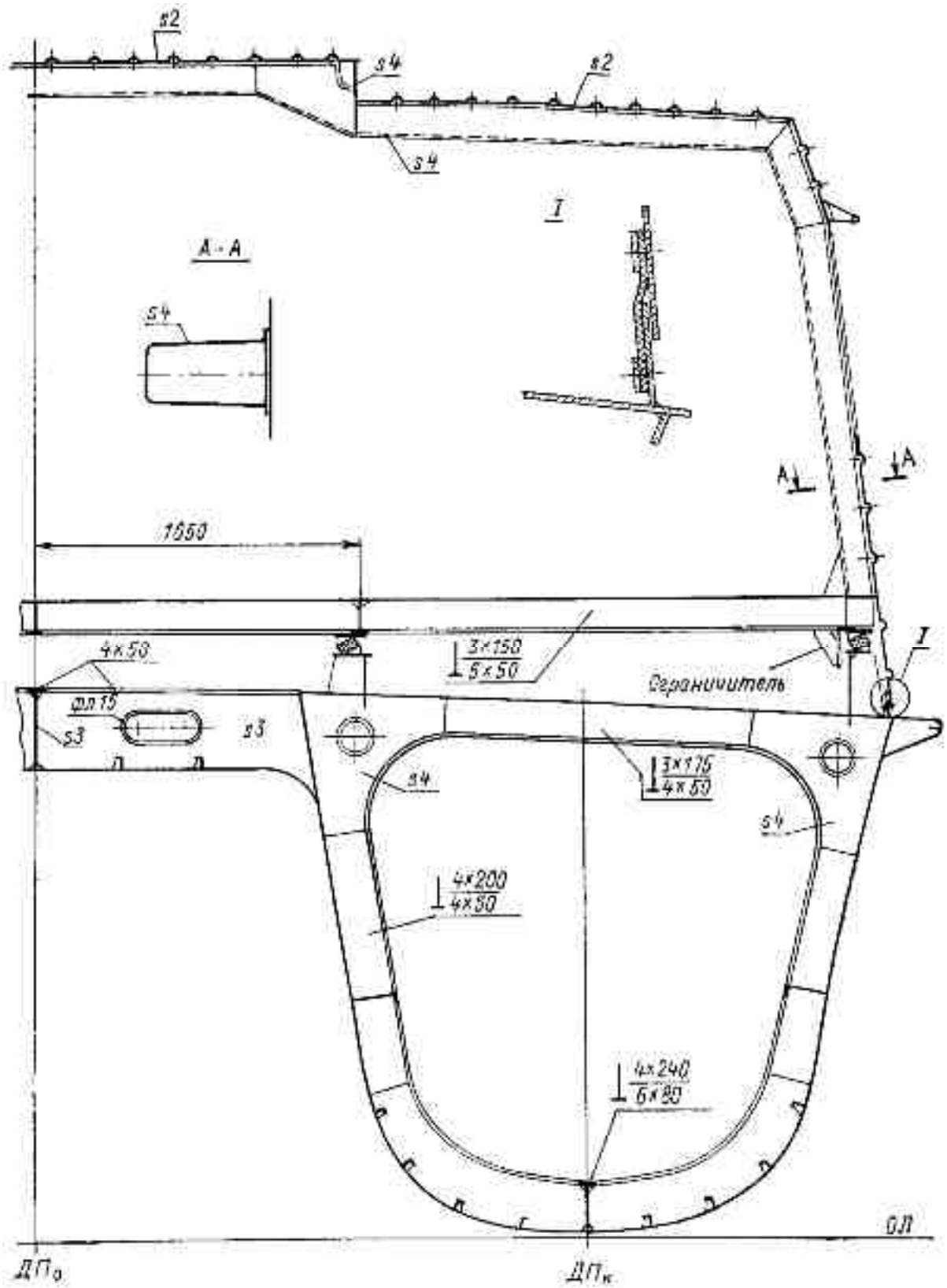


Рис. 8.13. Мидель-шпангоут речного пассажирского катамарана /16/

9. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ КОРПУСА

Существует множество требований к конструкциям корпуса различных судов, которые изложены в правилах классификационных обществ. Эти требования отражают опыт эксплуатации судов, и их выполнение обязательно. Количество этих требований велико, формулировка многих из них со временем изменяется, особенно это относится к практически неисчерпаемому множеству узлов корпуса судов различных конструктивных типов.

Вместе с тем, есть и некоторые относительно общие принципы и правила, а также типовые узлы, на основе которых можно создать технически грамотные конструкции. Конечно, в любом правиле могут быть исключения, но это уже отдельная тема.

Рассмотрим здесь некоторые общие требования и типовые примеры узлов. Следует особо отметить, что количественные показатели, которые далее будут встречаться, следует рассматривать как оценочные – точные требования следует искать в правилах классификационных обществ.

Требования к листовым конструкциям:

1) Ширина пластины не должна превышать 60 толщин. Если это правило не выполняется, лист нужно подкрепить (рёбрами жёсткости, кницами) или уменьшить шпацию набора (рис. 9.1).

2) Толщина листа должна быть не меньше толщин подкрепляющих его элементов. В противном случае возможны большие остаточные деформации (гофрировка) либо появление трещин в процессе эксплуатации.

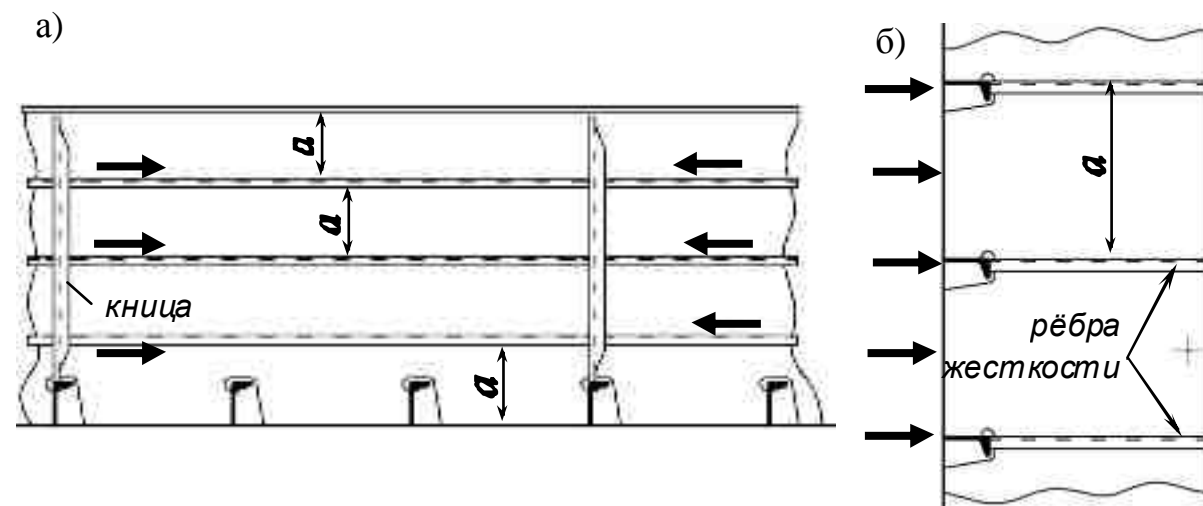


Рис. 9.1. Подкрепление стенки рамных балок

Требования к стенкам рамных балок и листовому набору двойных перекрытий:

1) Рёбра жёсткости должны быть ориентированы по направлению наибольших сжимающих усилий (рис. 9.1). Это правило обеспечивает устойчивость листов на сжатие.

2) Высота стенки рамной балки должна быть не менее двух высот пересекающих её балок основного набора (рис. 9.2).

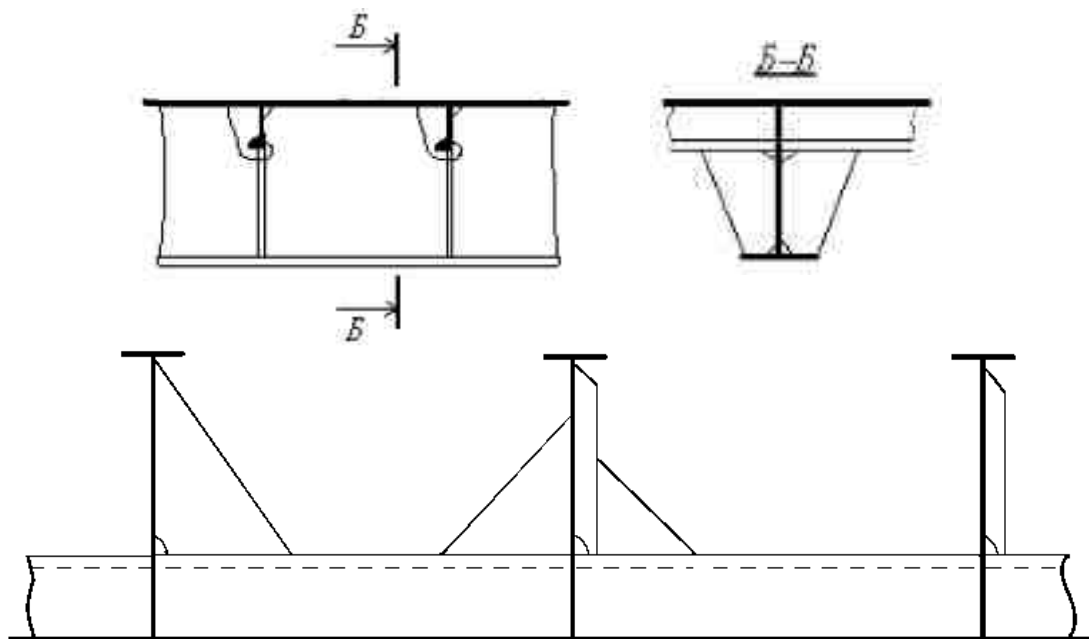


Рис. 9.2. Примеры подкреплений стенок высоких балок кницами или рёбрами жёсткости

3) От краёв облегчающих вырезов до поясков рамной связи должно быть расстояние не менее четверти высоты стенки (высота выреза – не более половины высоты стенки).

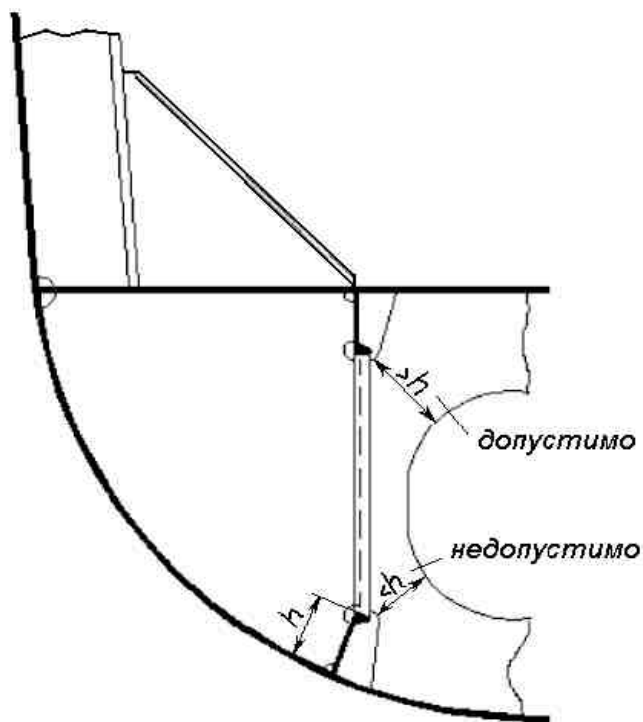


Рис. 9.3. Район скулового пояса

4) Расстояние от облегчающего выреза до выреза для прохода балки основного набора должно быть не менее высоты последнего (рис. 9.3).

5) Облегчающие вырезы должны быть подкреплены, если они расположены в районе опор рамной связи (ближе четверти пролёта). Также подкрепления вырезов необходимы в районах действия сосредоточенных усилий или повышенной вибрации. Это правило связано с тем, что в стенках балок у опор возникают наибольшие касательные напряжения (рис. 9.4).

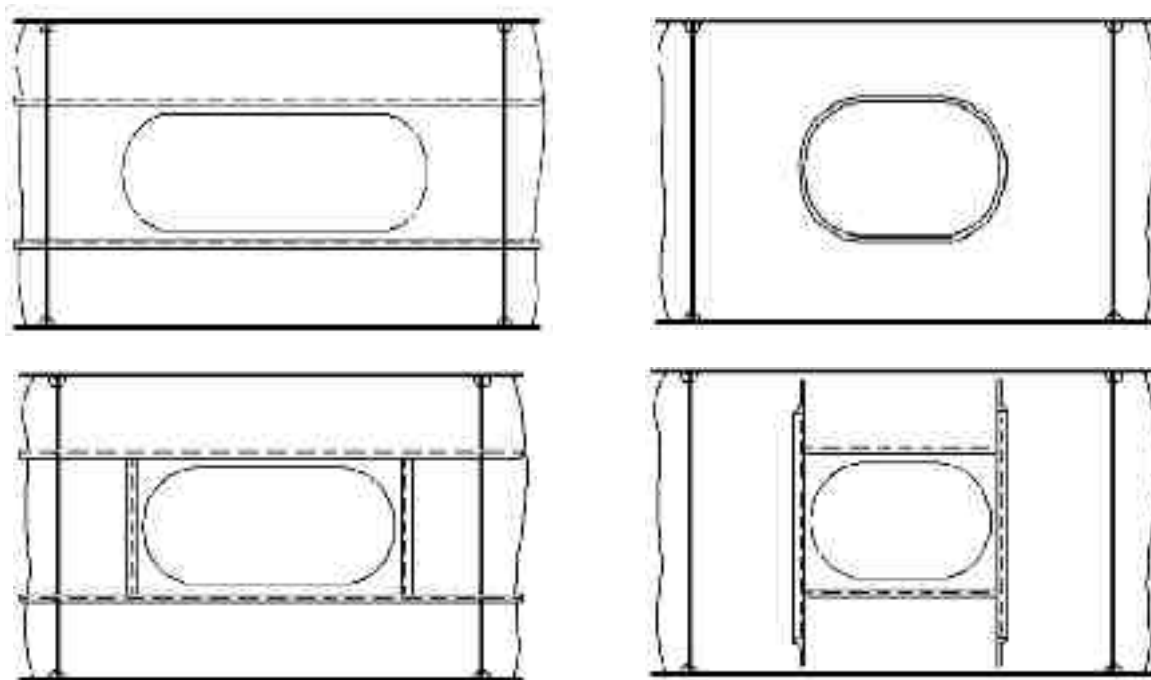


Рис. 9.4. Подкрепления стенки рамной связи

Требования к кницам и бракетам:

1) Катет книц, соединяющих рамные балки, должен быть не менее высоты стенки рамных балок (рис. 9.5). Такие кницы в основном служат для снижения концентраций напряжений в районе поясков балок у опор, поэтому кницы рекомендуется делать скруглёнными.

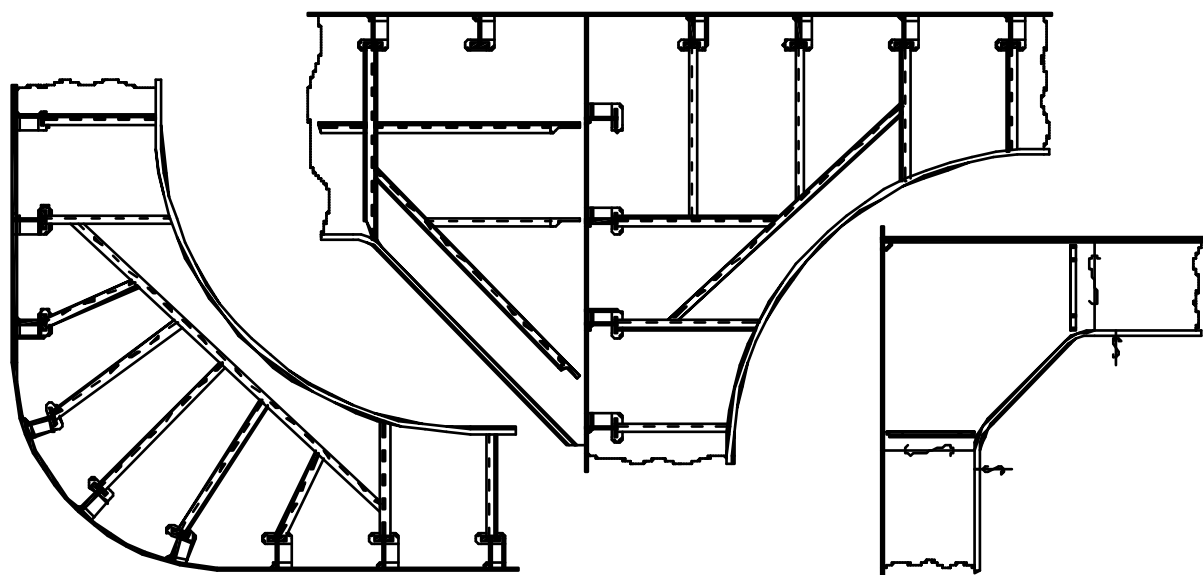


Рис. 9.5. Кничные соединения балок рамного набора

2) Катет книц, соединяющих балки основного набора, должен быть не менее двух высот стенки балок (рис. 9.6). Такие кницы должны обеспе-

чивать условия жёсткой заделки балок на опорах. За счёт книц максимальный изгибающий момент посередине пролёта балки уменьшается почти в три раза, но зато появляется значительный момент на опорах. Кницы как бы «притягивают» к себе изгибающий момент и соответствующие напряжения. Одновременно своим сечением кницы усиливают опорные узлы.

3) Если длина свободной кромки кницы (бракет) более 45 толщин, то она должна иметь пояс, иначе кница может потерять устойчивость при прогибе балок.

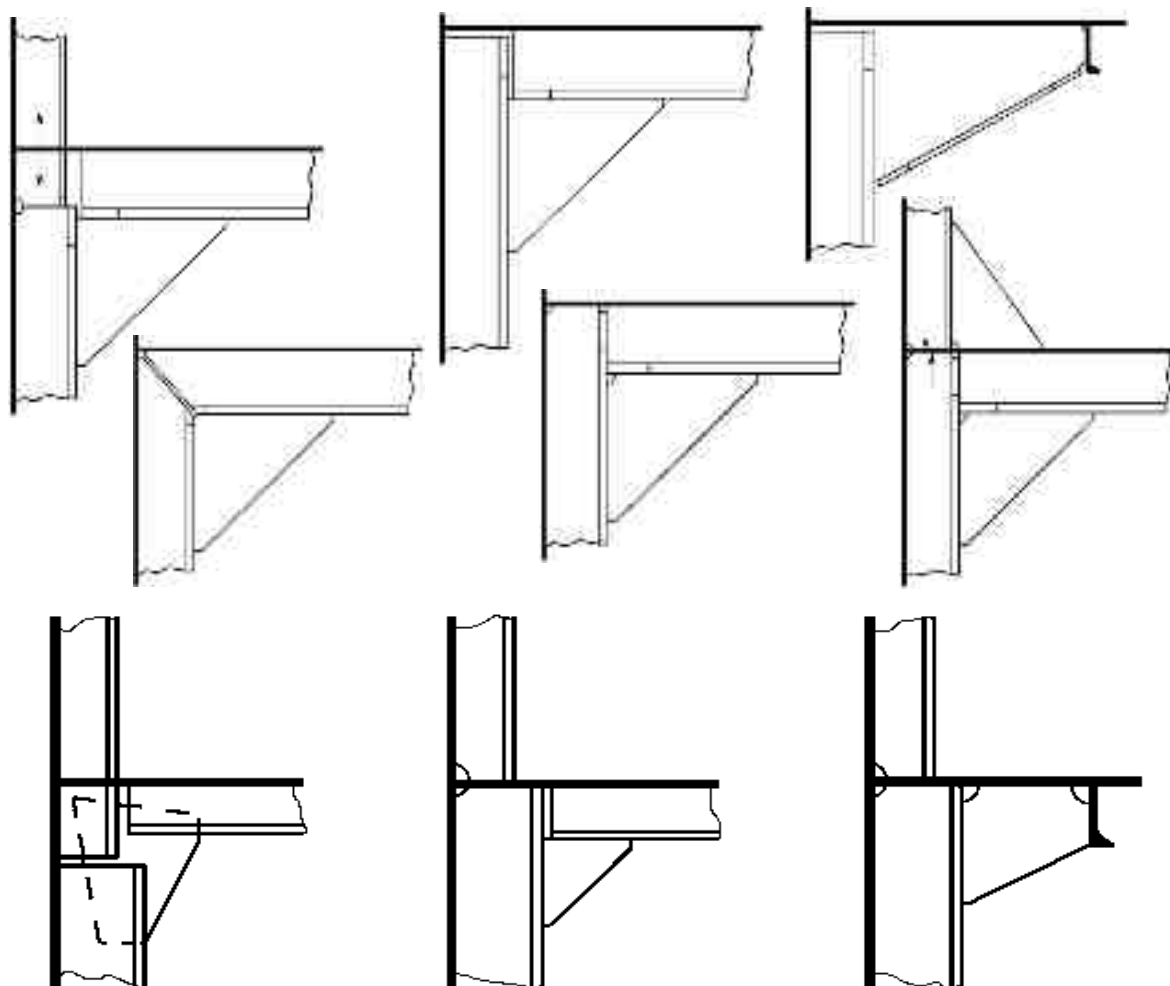


Рис. 9.6. Кничные соединения балок основного набора

4) Кницы (бракеты) могут соединять балки внахлест (внакрой) (рис. 9.7). Однако для соединения рамных балок накройные кницы не допускаются. Также накройные кницы нельзя применять в районах повышенных местных нагрузок и вибрации. Накройные кницы более технологичны, чем приставные (особенно в палубных конструкциях, когда их применение позволяет избежать ручной сварки в потолочном положении). Однако надёжность узлов с такими кницами невысока (дополнительные

напряжения, повышенная коррозия в щелях между кницей и стенками балок, вибрационные трещины).

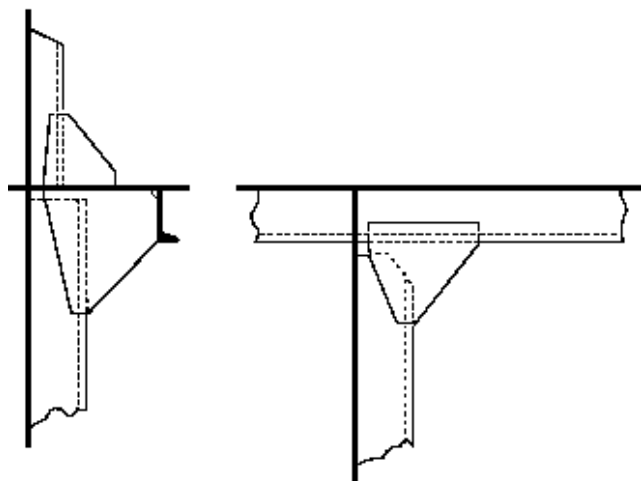


Рис. 9.7. Примеры соединений балок кницами внакрой (внахлест)

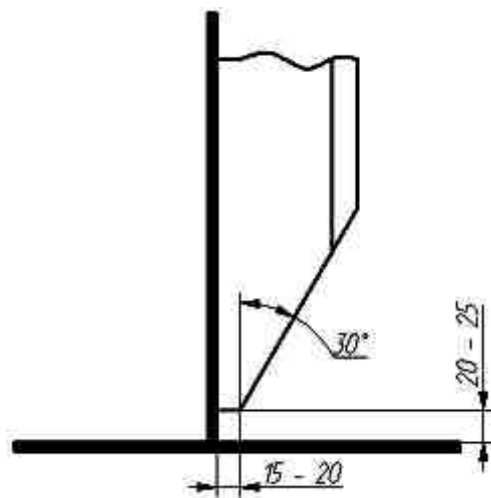


Рис. 9.8. Обрезка конца ребра жёсткости «на ус»

Требования к профилю балок основного набора и рёбер жёсткости:

1) Угловой профиль не допускается для конструкций стальных морских судов (в основном из-за малой жёсткости и наличия значительных дополнительных напряжений в балках от стеснённого кручения).

2) При наличии перекрёстных рамных связей симметричные профили нетехнологичны – они применяются обычно для конструкций крупнотоннажных судов или при специфичных требованиях к надёжности.

3) Концы рёбер жёсткости, не примыкающих к другим балкам набора, должны срезаться «на ус» (рис. 9.8).

Требования к узлам пересечения балок набора:

1) Места прохода балок основного набора через вырезы в стенке рамной связи являются одними из наименее технологичных узлов. Кроме того, в них наиболее часто возникают дефекты, трещины и другие повреждения. Следует избегать большого количества таких узлов.

2) Навесная система набора не допускается для водоизмещающих морских судов. Несмотря на свои очевидные технологические преимущества, такая конструкция имеет недостатки:

а) пластины обшивки имеют опоры не с четырёх, а только с двух сторон, поэтому для дополнительного подкрепления обшивки в местах больших нагрузок требуется вваривать дополнительные бракетки – проставыши;

б) рамные балки должны иметь второй пояс, которым они крепятся к холостым балкам, при этом её присоединённый пояс всё равно оказывается существенно меньше, чем в обычной конструкции, что приводит к уменьшению момента сопротивления профиля;

в) узлы крепления перекрёстных балок не всегда достаточно надёжны из-за малой протяжённости сварных швов, для усиления этих узлов приходится применять дополнительные кницы (рис. 9.9).

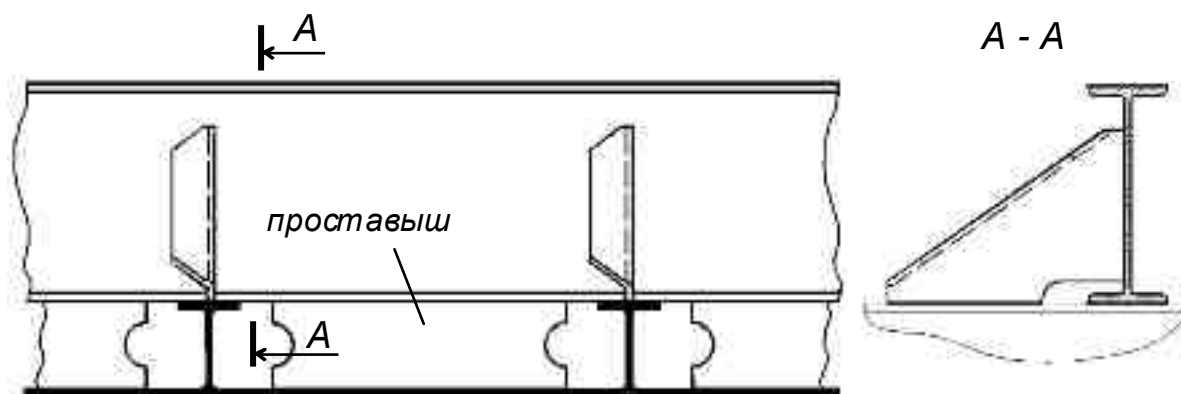


Рис. 9.9. Навесная конструкция набора с проставышами

3) Полка балки основного набора, проходящей через вырез в стенке рамной связи, должна быть свободной (не приваренной). Иначе в этом районе концентрируются напряжения, что приводит к быстрому появлению трещин (рис. 9.10).

4) Лист в районе прохода сквозь него балки следует подкреплять ребром жёсткости, иначе могут появиться трещины в месте приварки балок.

5) В местах действия сосредоточенных, ударных или вибрационных нагрузок, в районах опор рамной балки, а также при недостаточной высоте рамной балки (меньшей двух с половиной высот балок основного набора) узел пересечения балок должен подкрепляться планками – заделками (рис. 9.11, 9.12).

Требования к шпигатам (голубницам):

Высота шпигатов (голубниц) должна быть не более 20 % от высоты стенки, а ширина неподкреплённого участка обшивки (под шпигатом) – не более 15 толщин обшивки.

Некоторые общие принципы:

1) Любая конструкция, прежде всего, должна в полной мере отвечать требованиям эксплуатации. Это условие наиболее комплексное, так как эксплуатация судна должна быть одновременно экономически эффективной и безопасной (как для людей на судне, так и для окружающей среды).

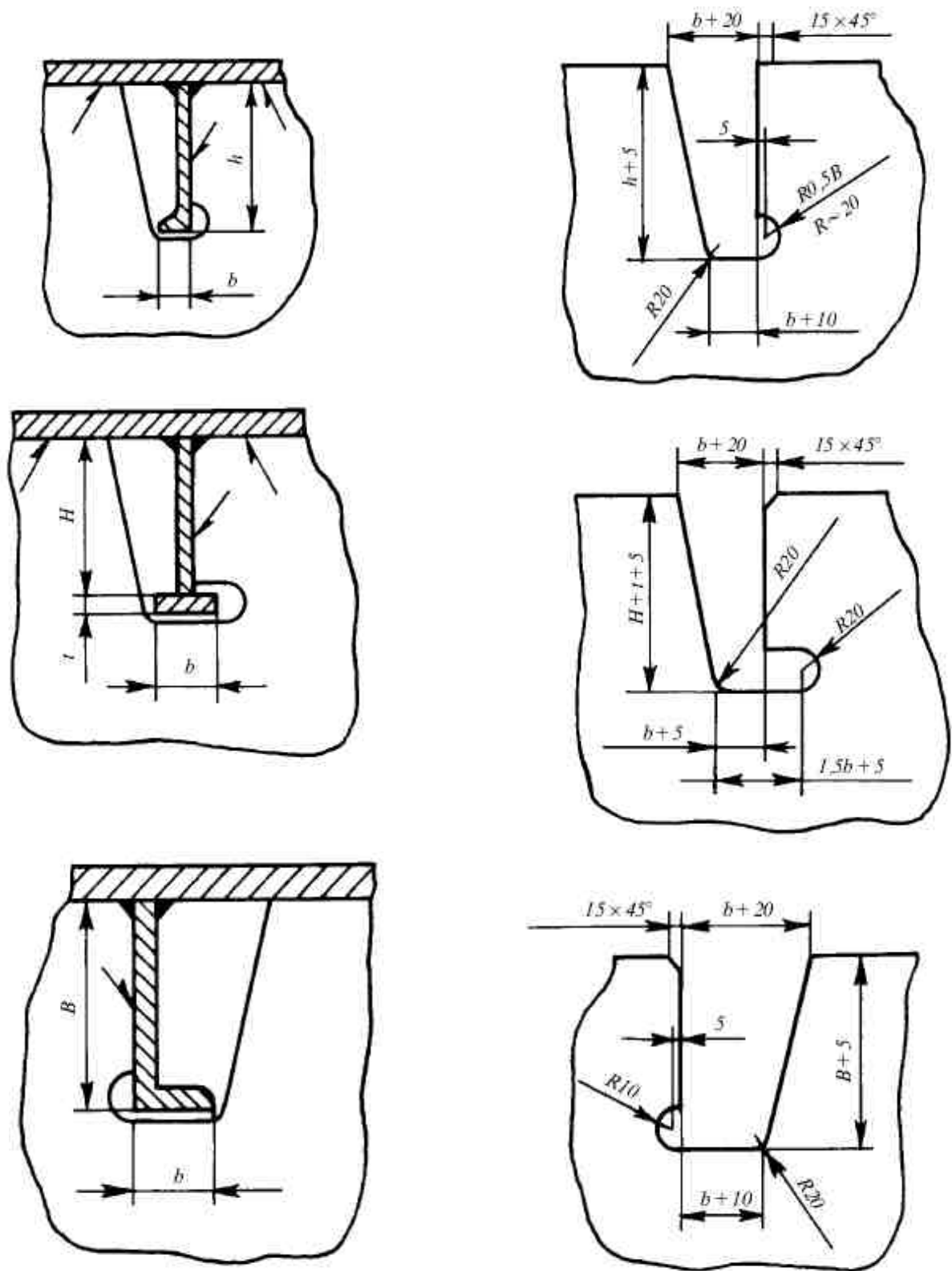


Рис. 9.10. Вырезы для прохода балок в пронцаемых конструкциях /15/

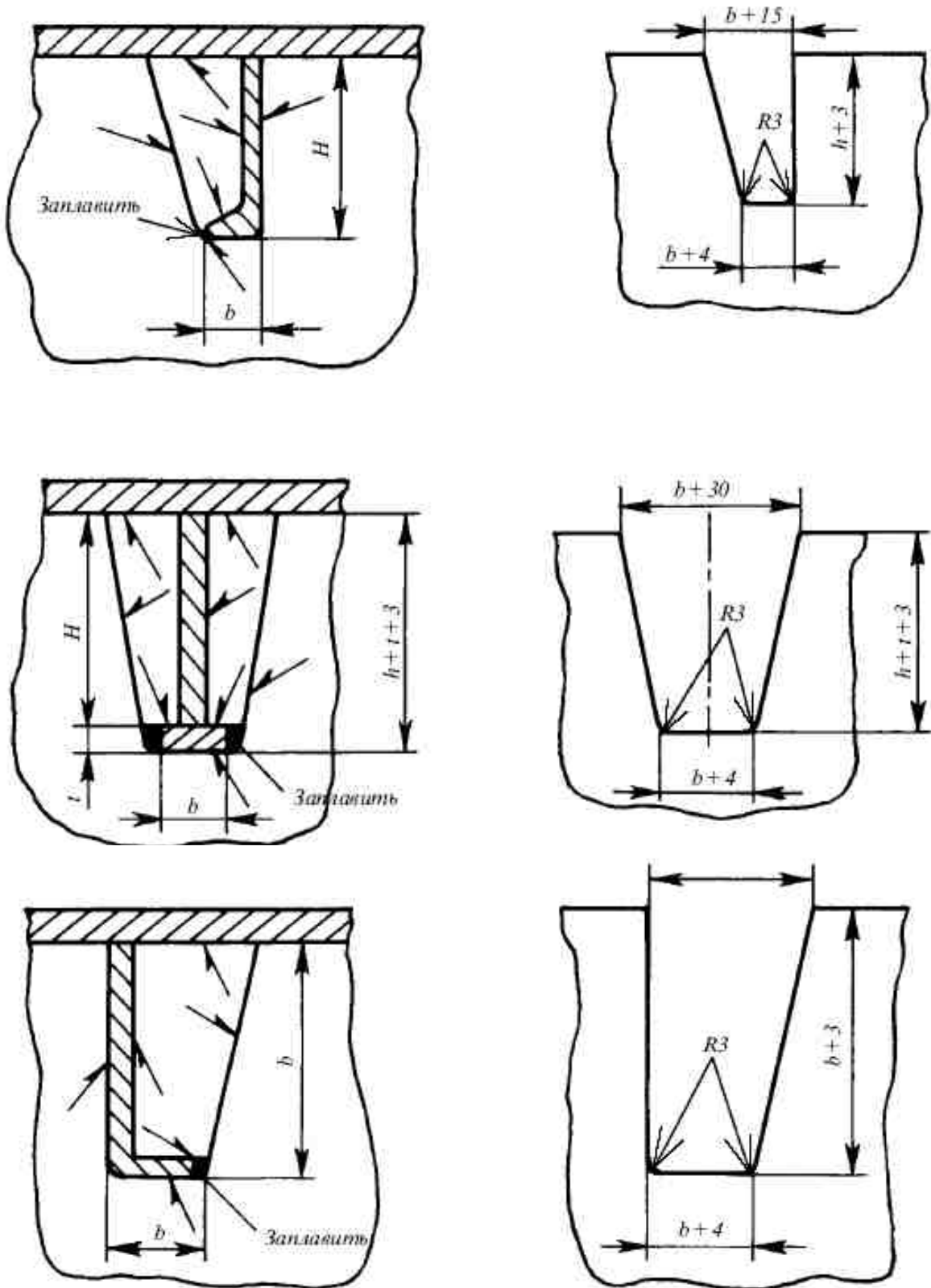


Рис. 9.11. Заделка вырезов в непроницаемых конструкциях /15/

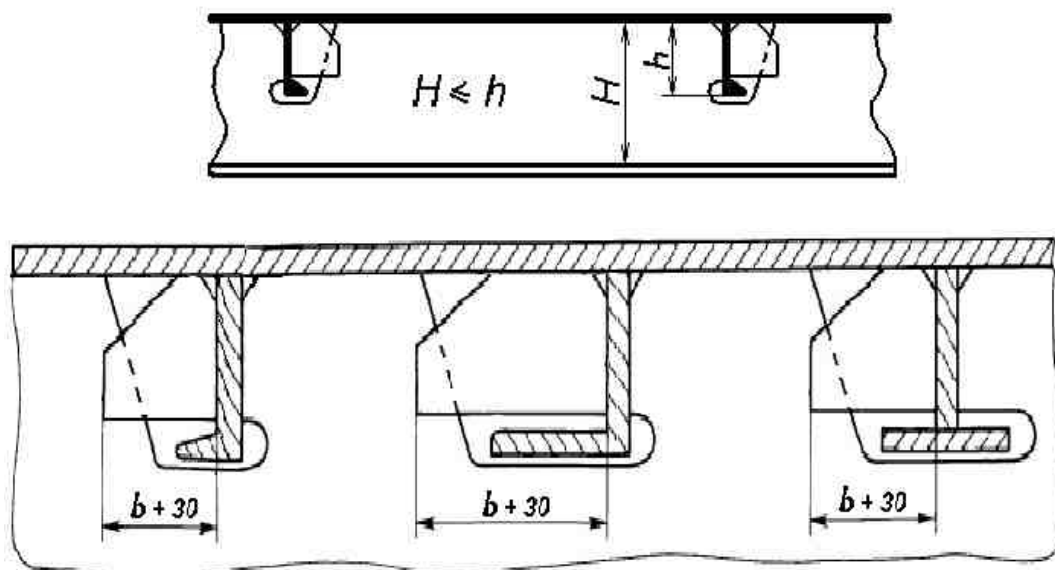


Рис. 9.12. Подкрепление вырезов планками

2) Качество конструкции тем выше, чем она технологичнее. Учёт технологии постройки и ремонтов конструкций позволяет снизить сроки и себестоимость постройки и ремонтов судна. Так, например, в труднодоступных местах обычно наблюдается большинство случаев брака, начальных дефектов конструкций, которые приводят к быстрому износу и повреждениям этих узлов. Особенно опасно то, что повреждения в таких узлах часто трудно обнаружить, разрушения переходят на соседние элементы, а это грозит нарушением не только местной прочности, но и крушениями судов при тяжёлых условиях эксплуатации (например, во время шторма).

3) Нельзя допускать в узлах конструкций «жёстких точек». Даже если напряжённость конструкций в целом невысока, в жёстких точках напряжения могут возрастать в несколько раз, и очень часто превышают предел текучести материала. Вообще, качество конструкции тем выше, чем меньше в ней перепады напряжений.

4) В месте действия сосредоточенной нагрузки должно находиться пересечение балок набора.

5) В месте действия нагрузки, распределённой по линии, должна находиться рамная балка или подкрепляющая листовая конструкция.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возникли у Вас вопросы в результате прочтения данного пособия и изучения его иллюстраций? У человека, стремящегося стать специалистом своего дела, таких вопросов должно быть очень много. Познание такой сложной технической системы, как судно, корабль – процесс бесконечный. Главное, чтобы для Вас этот процесс представлялся не бесконечно трудным, а бесконечно интересным.

При освоении курса конструкции судов важно не столько запоминание их архитектурных особенностей и конструкций, сколько исследование причин, приводящих к таким конструкциям. И вопрос «почему так делается?» далеко не всегда имеет однозначный ответ.

Почему у некоторых судов с двойными бортами внутренний борт имеет продольную систему набора, а наружный борт – поперечную (рис. 4.5)? Почему фальшборт лесовоза «Пионер Москвы» (рис. 5.2) имеет расширительные соединения, а продольные комингсы люков непрерывны по длине корпуса судна? Почему навесная система набора в конструкциях речных судов применяется, а в конструкциях морских судов – практически нет?

При проектировании судна многие вопросы решаются, казалось бы, просто, – нормативные требования классификационных обществ довольно жёстко регламентируют конструкцию. Тем самым исключаются многие конструкторские ошибки, гарантируется безопасность судна стандартного типа. Но в то же время ничто так не мешает развитию инженерного творчества, как слепое следование правилам. Оно также может привести к ошибкам.

И. Г. Бубнов приводил такой пример: «на огромном большинстве броненосцев бимсы верхней палубы делаются высотой не более 250 мм, вполне удовлетворяя своему назначению; но достаточно поставить на палубу более сильное орудие, расположенное в менее выгодных для прочности бимсов условиях, и этот узаконенный обычай размер окажется совсем недостаточным».

Другой пример – конструкция корпуса современных балкеров остаётся неизменной уже полвека. Вместе с тем за это время их валовая вместимость увеличилась примерно с 20 до 260 тыс. т. Крушения с этими судами происходят регулярно. Можно ли уменьшить аварийность таких судов путём изменения их конструкций? Если да, то как это сделать?

Учитесь внимательно рассматривать конструкции, на основе наблюдений ставить вопросы и, рассуждая, искать на них ответы. Только так Вы приобретёте необходимый инженерный опыт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Барабанов, Н. В.** Конструкция корпуса морских судов : учебник. В 2 т. Т. 1 / Н. В. Барабанов, Г. П. Турмов. – СПб. : Судостроение, 2002. – 472 с.
2. **Барабанов, Н. В.** Особенности проектирования конструкций морских лесовозов / Н. В. Барабанов, Ю. Г. Рыбалкин. – Л. : Судостроение, 1986. – 175 с.
3. **Барановский, М. Е.** Суда для перевозки навалочных грузов / М. Е. Барановский. – Л. : Судостроение, 1967. – 256 с.
4. **Васильев, А. Л.** Архитектурно-конструктивные типы судов: Учеб. пособие / А. Л. Васильев. – Л. : ЛКИ, 1988. – 68 с.
5. **Воронцов, И. А.** Проектирование и оценка технического состояния стальных конструкций плавучих доков : учеб. пособие / И. А. Воронцов. – Владивосток : ДВГТУ, 2006. – 89 с.
6. **Гарин, Э. Н.** Конструкция корпуса судов на воздушной подушке : учеб. пособие / Э. Н. Гарин. – Л. : ЛКИ, 1979. – 111 с.
7. **Гарин, Э. Н.** Конструкция корпуса судов на подводных крыльях : учеб. пособие / Э. Н. Гарин. – Л. : ЛКИ, 1982. – 93 с.
8. **Горбунов, Ю. В.** Суда для малых рек / Ю. В. Горбунов. – М. : Транспорт, 1990. – 111 с.
9. **Зайцев, В. В.** Суда – газовозы / В. В. Зайцев, Ю. Н. Коробанов. – Л. : Судостроение, 1990. – 304 с.
10. **Зайцев, Н. А.** Отечественные суда на подводных крыльях / Н. А. Зайцев, А. И. Маскалик. – Л. : Судостроение, 1967. – 363 с.
11. **Захаров, А. С.** Особенности проектирования судов с горизонтальной грузообработкой / А. С. Захаров. – Л. : ЛКИ, 1980. – 111 с.
12. **Захаров, Б. Н.** Суда для перевозки лесных грузов / Б. Н. Захаров. – Л. : Судостроение, 1988. – 206 с.
13. **Лазарев, В. Н.** Проектирование конструкций судового корпуса и вопросы прочности судов : учебник / В. Н. Лазарев, Н. В. Юношева. – Л. : Судостроение, 1989. – 320 с.
14. Морские пассажирские суда / Ю. А. Будницкий, Г. П. Пилипенко, А. Г. Чукавин, В. С. Петухов. – Л. : Судостроение, 1989. – 224 с.
15. Правила классификации и постройки морских судов / Российский морской регистр судоходства. – СПб. : РМРС, 2003. – Т.1.
16. **Протопопов, В. Б.** Конструкция корпуса судов внутреннего и смешанного плавания : учебник / В. Б. Протопопов, О. И. Свечников, Н. М. Егоров. – Л. : Судостроение, 1984. – 376 с.
17. **Симанович, А. М.** Конструкция корпуса промысловых судов : учебник / А. М. Симанович, Б. А. Тристанов. – Л. : Судостроение, 1991. – 344 с.

18. http://heiwaco.tripod.com/ce_coulombiegg.htm
19. <http://motolodka.ru>
20. <http://scherbakshipmodels.tripod.com>
21. <http://supertankers.topcities.com>
22. <http://www.aluminumnow.com>
23. <http://www.amsgrant.com>
24. <http://www.archnav.de>
25. <http://www.foils.org/gallery>
26. <http://www.hydrofoils.org>

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
1. ОСНОВНЫЕ НАЗВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОРПУСА СУДНА	3
2. СИСТЕМЫ НАБОРА КОРПУСА СУДНА	10
3. КЛАССИФИКАЦИЯ СУДОВ	20
4. СУДА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ МАССОВЫХ ГРУЗОВ	25
4.1. Танкеры	25
4.2. Навалочные суда	33
4.3. Комбинированные суда	42
5. СУДА ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ ГЕНЕРАЛЬНЫХ ГРУЗОВ	45
5.1. Лесовозы	44
5.2. Контейнеровозы	47
5.3. Накатные суда	54
5.4. Лихтеровозы	60
5.5. Суды для перевозки крупногабаритных грузов	63
5.6. Другие универсальные и специализированные сухогрузы	64
6. ПЛАВУЧИЕ ДОКИ, ПРОМЫСЛОВЫЕ, ПАССАЖИРСКИЕ И ДРУГИЕ ВОДОИЗМЕЩАЮЩИЕ СУДА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ СУДОХОДСТВО	72
6.1. Плавучие доки	72
6.2. Суды, обеспечивающие судоходство	71
6.3. Промысловые суда	80
6.4. Пассажирские суда	86
7. ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ СУДА	92
7.1. Глиссирующие суда	93
7.2. Суды и корабли на подводных крыльях	97
7.3. Суды и корабли на воздушной подушке	104
7.4. Экранопланы	110
8. МНОГОКОРПУСНЫЕ СУДА	113
9. ПРИМЕРЫ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ КОРПУСА	121
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	130
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	129