

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

**А. Д. Бурменский, И. В. Каменских, С. Д. Чижиумов**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА  
МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ**

Утверждено в качестве учебного пособия  
Учёным советом Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

Комсомольск-на-Амуре  
2014

УДК 629.5.023(07)  
ББК 39.42-044-02я7  
Б915

*Рецензенты:*

Кафедра «Кораблестроение и океанотехника» ФГАОУ ВПО  
«Дальневосточный федеральный университет», зав. кафедрой  
кандидат технических наук, доцент К. В. Грибов;  
Г. Т. Казанов, кандидат технических наук, доцент кафедры  
физики и общетехнических дисциплин Тихоокеанского высшего  
военно-морского училища (ТОВВМУ) им. адмирала С. О. Макарова

**Бурменский, А. Д.**

Б915 Проектирование конструкций корпуса морских транспортных судов : учеб. пособие / А. Д. Бурменский, И. В. Каменских, С. Д. Чижумов. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 126 с.  
ISBN 978-5-7765-1122-6

В учебном пособии рассмотрены общие принципы проектирования конструкций стальных судов, вопросы обеспечения местной и общей прочности корпуса судна. Приводятся основные требования к проектированию конструкций корпуса морских транспортных судов по правилам Морского Регистра Судоходства и методика проектирования судовых корпусных конструкций. В приложениях даны примеры конструктивных и рабочих чертежей корпуса судна, а также указания по их оформлению.

Учебное пособие предназначено для студентов направления «Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры» для выполнения курсового проектирования по дисциплине «Конструкция корпуса судов (кораблей)», а также может быть использовано студентами при выполнении выпускной квалификационной работы.

УДК 629.5.023(07)  
ББК 39.42-044-02я7

ISBN 978-5-7765-1122-6

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального  
образования «Комсомольский-на-Амуре  
государственный технический  
университет», 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
СОКРАЩЕНИЯ.....	8
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	8
1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА МОРСКОГО СУДНА .....	9
1.1. Принципы нормирования прочности в правилах Морского Регистра Судоходства.....	9
1.2. Выбор шпации. Размещение переборок и размеры грузовых люков.....	12
1.3. Выбор систем набора перекрытий корпуса.....	15
1.4. Выбор материала корпусных конструкций .....	16
1.5. Определение расчётных нагрузок .....	20
1.5.1. Нагрузки со стороны моря .....	21
1.5.2. Ускорения судна при качке.....	22
1.5.3. Давления от груза и балласта .....	23
1.6. Определение толщины листовых элементов корпуса.....	24
1.7. Подбор профиля балок набора.....	27
1.8. Стенки рамных балок: подкрепление и вырезы.....	30
1.9. Кницы .....	31
2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ ДНИЩА.....	33
2.1. Одинарное днище.....	33
2.2. Двойное днище .....	35
2.2.1. Конструкция двойного дна при поперечной системе набора ..	36
2.2.2. Конструкция двойного дна при продольной системе набора ..	38
2.2.3. Размеры сечений связей двойного дна .....	41
3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ БОРТА .....	45
3.1. Конструкции одинарного борта.....	46
3.2. Конструкции двойного борта.....	46
3.3. Конструкция борта и цистерн навалочных судов.....	47
3.4. Размеры связей .....	48
3.4.1. Общие требования.....	48
3.4.2. Дополнительные требования для бортов и цистерн навалочных судов.....	51
3.4.3. Дополнительные требования для бортов танкеров.....	51
3.5. Проектирование конструкций с ледовыми усилениями .....	52
3.5.1. Конструктивные особенности ледовых усилений .....	54
3.5.2. Ледовая нагрузка.....	57
3.5.3. Размеры конструкций ледовых усилений .....	58
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ ПАЛУБ .....	63

4.1. Конструкции .....	63
4.2. Размеры связей .....	67
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ ПЕРЕБОРОК .....	70
5.1. Конструкции .....	70
5.2. Размеры связей .....	72
6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПИЛЛЕРСОВ И ФАЛЬШБОРТА .....	75
6.1. Подбор пиллерсов .....	75
6.2. Проектирование фальшборта.....	76
7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЩЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА....	77
7.1. Изгибающие моменты на тихой воде.....	78
7.2. Изгибающие моменты от волнения.....	79
7.3. Требования Правил Регистра по обеспечению общей продольной прочности .....	80
7.4. Расчет эквивалентного бруса .....	81
7.5. Проверка устойчивости связей, испытывающих сжатие. Уточнение размеров связей .....	86
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	88
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	89
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЧЕРТЕЖА КОНСТРУКТИВНОГО МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТА КОРПУСА СУДНА.....	91
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОЧЕГО ЧЕРТЕЖА.....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. ПРИМЕРЫ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ .....	111
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. КЛАСС СУДОВ ПО РАЙОНУ ПЛАВАНИЯ .....	118
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. КАТЕГОРИИ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ .....	119
ПРИЛОЖЕНИЕ 6. ОТДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВ .....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ 7. СОРТАМЕНТЫ ПРОФИЛЕЙ.....	122

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Правила классификации и постройки морских судов РМРС [13] (далее будем сокращать это название – Правила Регистра или Правила) содержат подробные требования к конструкции и размерам связей корпусов судов многих типов. Это позволяет непосредственно применять их при проектировании конструкций. Однако Правила Регистра не являются пособием по проектированию. Для студентов, не имеющих большого опыта практических расчётов, непосредственное применение Правил при курсовом проектировании – занятие довольно утомительное по причине большой вложенности разделов и подразделов, а также большого количества ссылок на другие подразделы. Это может привести к ошибкам и неучету некоторых требований РМРС.

Предлагаемое пособие призвано помочь в усвоении основных принципов и требований Правил Регистра к судовым конструкциям, а также облегчить и ускорить процесс проектирования конструкций.

При выполнении курсового проекта по конструкции корпуса морских судов рекомендуется придерживаться следующего порядка:

1) вначале определить архитектурно-конструктивные особенности корпуса судна, шпации, размещение основных конструктивных элементов (переборок, грузовых люков и др.), системы набора, материал (в первом приближении) – в соответствии с подразделами 1.2 – 1.4;

2) выполнить эскизы всего судна (размещение переборок, палуб) и перекрытий (схемы набора);

3) уточнить конструкцию перекрытий и определить размеры связей, последовательно следуя указаниям разделов 2 – 6; выполнить уточненные эскизы конструкций (мидель-шпангоута, секций, узлов);

4) выполнить оценку общей прочности и, при необходимости, уточнить размеры связей корпуса согласно указаниям раздела 7;

5) выполнить конструктивный чертёж мидель-шпангоута;

6) выполнить рабочий чертёж одной из секций корпуса судна.

Указания и формулы, приведенные в подразделах 1.4 – 1.8, являются общими, поэтому к ним следует обращаться многократно в процессе проектирования той или иной связи. В приложениях даны примеры конструктивных и рабочих чертежей корпуса судна и указания по их оформлению.

Следует отметить учебный характер пособия, поэтому в нём требования Правил Регистра охвачены далеко не полностью и часто упрощены. В частности, в пособии почти не приводятся требования к конструкциям в оконечностях, а также для специализированных судов (из раздела 3 части II Правил). Поэтому использование пособия следует сочетать с Правилами Регистра.

Ссылки на разделы части II (Корпус) Правил Регистра в тексте пособия обозначены курсивом в круглых скобках, например *(1.1.6.1)*. Если в пособии требования раздела Правил упрощены или сокращены, то в ссылке добавлен символ «-», например *(1.1.6.1-)*.

**Все значения величин в формулы следует подставлять в размерностях, приведенных в разделе «условные обозначения» (если специально не указано).**

## ВВЕДЕНИЕ

Знания конструкций корпуса судна и принципов их проектирования являются основными для инженера-кораблестроителя. Конечно, необходимые знания зависят от места работы инженера. Так, заводской инженер (мастер, строитель, технолог) должен более детально разбираться в вопросах технологии постройки, знать особенности материалов. Инженер-конструктор должен иметь навыки проектирования и конструирования. Инженер-исследователь обязан уметь анализировать существующие конструкции и их работу в разных эксплуатационных условиях (на основе знаний, в первую очередь, строительной механики корабля), уметь обобщать результаты анализа, а самое главное – стремиться творчески мыслить и изобретать.

Следует отметить, что в настоящее время в отечественном судостроении наблюдается постепенное изменение организации и технологии проектирования судов. Раньше проектирование и постройка судов разделялись как «во времени» (сначала полный рабочий проект, а затем постройка), так и «в пространстве» (проектирование – в ЦКБ, постройка – на заводах). В полной мере такой подход возможен только при серийной постройке судов и отлаженной системе централизованного планирования и управления.

При такой системе организации работ конструкторские и технологические бюро заводов занимаются адаптацией рабочей документации, созданной в ЦКБ, к особенностям собственного производства. Инженерам приходится выполнять много «рутинной» работы по правке чертежей и техпроцессов, что зачастую сопровождается ошибками. При этом заводские специалисты, находясь в зависимом положении, вынуждены согласовывать с ЦКБ любую мелочь, практически легко решаемую на основе опыта мастеров [1]. В результате у мастеров возникает соблазн выполнять работы, не дожидаясь окончательной полной рабочей документации, что может привести к потере качества или браку. Однако в настоящее время все понимают, что так быть не должно, поэтому ситуация меняется.

В современном быстро меняющемся мире при жесткой конкуренции судостроительные предприятия создают или расширяют собственные

инженерные центры, которые могут самостоятельно разрабатывать технические и рабочие проекты судов, технологические процессы, сразу учитывающие конкретные особенности завода. В результате снижается объём документации, ускоряется её согласование, уменьшаются сроки и стоимость проектных работ. Более того, имеется возможность начинать работы, связанные с постройкой судна, параллельно с проектными работами. Это позволяет заводу быть более конкурентоспособным и независимым в освоении новой продукции.

В этих условиях требования к современному инженеру-кораблестроителю повышаются. Он должен иметь навыки творческого мышления, знания стандартов и правил проектирования и постройки судов независимо от места работы – в цеху, в конструкторском либо технологическом отделе, в научно-исследовательской организации.

Проектирование конструкций корпуса судна производится на этапе, когда техническое задание и проектные проработки predeterminedили класс и архитектурно-конструктивный тип судна, его главные размерения и форму обводов, общее расположение и эксплуатационные характеристики. При таких достаточно чётких ограничениях проектирование конструкций облегчается тем, что уменьшается количество основных критериев проектирования и вариантов возможных конструкций. В большинстве случаев определяющими являются критерии, связанные с прочностью конструкций.

Существуют два основных метода проектирования корпуса судна: расчётный и по правилам классификационных обществ.

Проектирование большинства конструкций гражданских судов можно выполнить, основываясь только на правилах классификационных обществ (в России – Правила РМРС [13]) – соблюдения этих правил обычно достаточно для однозначного определения размеров конструкций.

Расчётный метод, основанный на применении методов строительной механики корабля, позволяет создавать более рациональные и совершенные, иногда нестандартные конструкции. Однако при любом методе проектирования судно должно соответствовать Правилам Регистра, поэтому спроектированные расчётным методом судовые конструкции следует проверять на их соответствие Правилам. Может оказаться, что спроектированная конструкция не удовлетворяет некоторым требованиям Правил. В этом случае РМРС может допустить применение конструкции, если расчёты убедительно покажут её достаточную надёжность и безопасность.

## СОКРАЩЕНИЯ

ВК – киль вертикальный;  
ВП – верхняя палуба;  
ГВЛ – летняя грузовая ватерлиния\*;  
ГК – киль горизонтальный;  
ДП – диаметральной плоскость;  
КВЛ – конструктивная ватерлиния;  
КО – котельное отделение;  
МАКО – Международная ассоциация классификационных обществ;  
МАРПОЛ 73/78 – международная конвенция по предотвращению загрязнения с судов;  
МО – машинное отделение;  
ОЛ – основная линия;  
ОП – основная плоскость;  
р. ж. – ребро жесткости;  
РМРС – Российский Морской Регистр Судоходства;  
УСНГ – универсальное судно для перевозки навалочных грузов;  
ЦКБ – центральное конструкторское бюро.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$C_b$  – коэффициент общей полноты\*;  
 $B$  – ширина судна\*, м;  
 $B_1$  – ширина отсека, м;  
 $D$  – высота борта судна\*, м;  
 $d$  – осадка судна\*, м;  
 $DW$  – дедвейт, т;  
 $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения;  
 $k_\sigma$  – коэффициент допускаемых нормальных напряжений;  
 $k_\tau$  – коэффициент допускаемых касательных напряжений;  
 $L$  – длина судна между перпендикулярами, м;  
 $L_1$  – длина отсека, м;  
 $m$  – коэффициент изгибающего момента;  
 $p$  – расчётное давление, кПа;  
 $R_{eH}$  – верхний предел текучести стали, МПа;  
 $s$  – толщина листового элемента, мм;  
 $u$  – среднегодовое уменьшение толщины от износа, мм/год;  
 $W_b$  – то же на уровне днища, см<sup>3</sup>;

---

\* Точное определение данного термина приведено в части II (Корпус), пункте 1.1.3 Правил Морского Регистра Судоходства [13].



$W_d$  – момент сопротивления поперечного сечения корпуса судна на уровне палубы, см<sup>3</sup>;

$\Delta s$  – запас толщины на коррозионный износ, мм;

$\eta$  – коэффициент использования механических свойств стали;

$v_0$  – спецификационная скорость судна\*, уз;

$\rho = 1,025$  т/м<sup>3</sup> – средняя плотность морской воды;

$\sigma_n$  – нормативный предел текучести по нормальным напряжениям, МПа;

$\tau_n = 0,57\sigma_n$  – нормативный предел текучести по касательным напряжениям, МПа.

## 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ И ПРАВИЛА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА МОРСКОГО СУДНА

### 1.1. Принципы нормирования прочности в правилах Морского Регистра Судоходства

Прочность конструкций судна является комплексным понятием, включающим, в первую очередь, способность их сопротивляться усталостным разрушениям (трещинам) от переменных нагрузок и разрушениям от экстремальных нагрузок (разрывам, пластическим деформациям и потерям устойчивости связей с нарушением их формы). Поэтому Правила Регистра устанавливают нормативные требования к корпусу судна, исходя из двух основных критериев: **усталостной и предельной прочности**.

Основными причинами усталостных трещин являются:

- концентрация напряжений, особенно растягивающих (первопричиной которой являются недостаточно качественно спроектированные узлы, имеющие резкие изменения сечений – жёсткие точки);
- недостаточная пластичность и вязкость, а также дефекты материала;
- остаточные сварочные напряжения, дефекты сварных швов и другие технологические дефекты.

Сложность учёта усталости при нормировании прочности, а также проектировании конструкций состоит в том, что она зависит:

- от трудно предсказуемых эксплуатационных нагрузок (особенно вибрационных и ударных);
- качества проектирования мелких узлов (а это уже во многом зависит от опыта конструктора, т.к. регламентировать в Правилах все разнообразие возможных конструктивных решений практически невозможно и не имеет смысла);

---

\* Точное определение данного термина приведено в части II (Корпус), пункте 1.1.3 Правил Морского Регистра Судоходства [13].

– качества материала и технологии изготовления (эти особенности сложно учесть проектанту и невозможно в полном объёме отразить в Правилах).

Учёт предельной прочности при проектировании конструкций представляет собой ещё более сложную проблему. Во-первых, существует большое разнообразие экстремальных внешних сил, как хорошо определённых (например, статическое давление воды на переборку при затоплении отсека), так и тех, которые не могут быть учтены при проектировании в полной мере (например, удары при столкновениях, взрывы, волновые нагрузки в районе ураганов исключительной силы, волны-убийцы).

Во-вторых, при экстремальных нагрузках происходит нелинейное поведение конструкций, которое трудно смоделировать (в частности, упруго-пластические деформации, потеря устойчивости и т.п., сильно зависящие к тому же от динамики нагружения, наличия трещин и других факторов). Ещё труднее представить соответствующие нормативные требования в виде обобщённых формул, имеющих чёткий физический смысл. По этой причине некоторые классификационные общества в комплексе с нормативными правилами ввели в практику проектирования использование специальных программных комплексов, позволяющих моделировать нелинейное поведение конструкций с применением метода конечных элементов.

Всё многообразие условий эксплуатации судовых конструкций сосредоточено в Правилах Регистра в виде простых формул, которые представляют ограничения на параметры связей (толщин, характеристик сечений балок и т.п.) в виде функции от условных внешних сил (расчётных нагрузок) и условных безопасных внутренних сил (допускаемых напряжений, определяемых как часть предела текучести материала).

Может возникнуть вопрос: как же можно полагаться на Правила и быть уверенным в надёжности спроектированных конструкций, если они основаны на применении условных нагрузок (меньших, чем реально возможные экстремальные нагрузки), не моделируют особенности реального, нелинейного поведения конструкций и т.п.? Прежде чем ответить на этот вопрос, напомним, что «абсолютную гарантию может дать только страховой полис»\*.

Академик А. Н. Крылов ещё в 1935 году писал: «Молодые инженеры часто склонны относиться со своего рода пренебрежением «к разного рода Правилам Ллойдов и Регистров», считая, что эти Правила составлены по принципу «назначь размер, скажем толщину, на глаз, да четверть дюйма прибавь». На самом деле это далеко не так. Возьмём для примера Англий-

---

\* Кстати, классификационные общества многих стран и возникли на основе страховых компаний. Заметьте также, как близки слова «надёжность» и «надежда».

ский Ллойд. Он существует как классификационное общество, т.е. наблюдающее за надлежащей прочностью корабля и его снабжения как во время постройки, так и во время службы, сто лет. Все случаи повреждений судов рассматриваются его инспекторами, рассеянными по портам всего мира, и доводятся до сведения Главной Лондонской конторы Общества, в которой работают опытные инженеры с обширной практикой и широким научным образованием.

Сейчас в списках Английского Ллойда находится около 35 тысяч пароходов всех наций; отсюда можно заключить, какой огромный материал и какое богатство опытных данных и «случаев» накапливается в его Главной конторе.

Правила Ллойда не являются неизменными, они постоянно совершенствуются на основе действительного опыта плавания судов и анализа аварий или повреждений, ими понесённых» [10].

Требования Правил Регистра получены на основе многолетнего опыта эксплуатации судов, а также многочисленных экспериментальных исследований, проводимых научно-исследовательскими организациями.

Раньше это обобщение опыта было оформлено в Правилах классификационных обществ в виде табличных данных и формул, которые определяли зависимость размеров связей, в основном, от главных размерений судна. Такой подход позволял очень легко определять размеры конструкций судов, но эти конструкции не отличались большим разнообразием. По мере развития новых типов судов становилась всё более очевидной необходимость придания зависимостям Правил явного физического смысла.

В современных Правилах Регистра размеры конструкций назначаются в соответствии с требованиями, которые явно связаны с условиями их эксплуатации:

- 1) местной изгибной прочности (на расчётные нагрузки, которые рассмотрены в подразделе 1.5);
- 2) местной сдвиговой прочности (для рамных связей);
- 3) общей прочности корпуса (определяемой из расчёта эквивалентного бруса, рассмотренного в разделе 7);
- 4) устойчивости связей от сжимающих усилий (см. подраздел 1.8);
- 5) достаточного запаса на коррозионный износ;
- 6) надёжности при воздействии различных ненормируемых нагрузок (ударов о плавающие предметы, падения груза, посадки на мель и т.п.), опыта эксплуатации и постройки судов (критерий минимальных толщин).

## 1.2. Выбор шпации. Размещение переборок и размеры грузовых люков

Шпацией называется расстояние между балками основного набора. Правилами Регистра определяется так называемая нормальная шпация  $a_0$ , м:

$$a_0 = 0,002L + 0,48.$$

Фактическую шпацию следует принимать таким образом, чтобы она отличалась от нормальной не более чем на 25 %. Шпация не должна быть больше 1 м. В форпике и ахтерпике шпация не должна превышать 0,6 м, а в носовой части (до  $0,2L$  от носового перпендикуляра) – 0,7 м (1.1.3).

Оптимальная шпация, при которой обеспечивается небольшой вес конструкции и минимум затрат на её изготовление, обычно превышает  $a_0$  примерно на 10 %. Желательно округлять шпацию до сотен миллиметров.

При выборе шпации следует учитывать размеры трюмов и других помещений, в пределах которых шпация не меняется.

Расстояние между поперечными рамными элементами набора, как правило, кратно шпации. При смешанной или продольной системе набора корпуса судна расстояние между флорами и бимсами обычно составляет: для сухогрузных (и аналогичных им по условиям эксплуатации) судов три-четыре, для навалочников – две, а для танкеров – четыре шпации.

При выборе шпации некоторых судов следует учитывать эксплуатационные особенности, например, особенности размещения и размеры контейнеров, трейлеров и др.

Процесс согласования шпации и кратных ей размеров (например, длины трюмов, контейнеров и др.) может происходить несколькими приближениями, поэтому возможно обращение к этому разделу не один раз, в том числе после выбора систем набора переборок.

Расстояние между поперечными переборками, длина грузового люка, расстояние от поперечного комингса до поперечной переборки, а для контейнеровозов также и длина контейнеров с учётом интервалов между их торцами, **должны быть кратны расстоянию между флорами и бимсами.**

Наименьшее число водонепроницаемых поперечных переборок грузового судна можно определить по табл. 1.1 (2.7.1.3). Расстояние между соседними водонепроницаемыми переборками не должно превышать 30 м.

Длина ахтерпика составляет обычно  $(0,04...0,07)L$  в зависимости от типа кормы, размеров и назначения судна и многих других параметров.

Переборка форпика должна отстоять от носового перпендикуляра в пределах: от  $0,05L$  до  $0,05L + 3$  м – для пассажирских судов (1.1.6.1-);  $(0,05L...0,08)L$  – для грузовых судов (1.1.6.2-).

Таблица 1.1

## Наименьшее число поперечных переборок

Длина судна $L$ , м	Общее число переборок при положении МО	
	в средней части судна	в корме
менее 65	4	3
65...85	4	4
85...105	5	5
105...125	6	6
125...145	7	6
145...165	8	7
165...185	9	8
более 185	по согласованию с Регистром	

Длина машинного отделения составляет обычно  $(0,15...0,20)L$  и колеблется в пределах 15...30 м.

Длина трюмов универсальных транспортных судов, приспособленных для перевозки контейнеров, должна быть кратна длине контейнеров с учётом интервалов между их торцами. Размеры наиболее употребляемых контейнеров приведены в приложении 6. Расстояние между торцами контейнеров – 0,3 м, а разделённых поперечными переборками – 1,0...1,5 м. Расстояние между боковыми стенками – 0,25 м.

Универсальные суда для перевозки навалочных грузов с чередующейся загрузкой трюмов имеют отношение длин короткого и длинного трюмов в пределах 0,5...0,7.

Современные контейнеровозы для раскрепления контейнеров в трюме и ускорения процесса грузообработки оборудуются блоками ячеистых конструкций, которые устанавливаются поперек трюмов и представляют собой двойные пронизываемые переборки с закрепленными на них вертикальными направляющими для контейнеров. Ячеистые конструкции разделяют пространство грузовых трюмов на отдельные грузовые ячейки (рис. 1.1). Длина каждой грузовой ячейки кратна длине 40-футового (40') контейнера. Расстояния между торцами контейнера и ячеистой конструкцией – 0,2...0,3 м, между боковыми стенками контейнеров – 0,04...0,07 м, а между боковыми стенками контейнеров и двойным бортом – 0,3 м. Габаритные размеры ячеистых конструкций по длине судна составляют от двух до четырех шпаций [18].

Большинство танкеров (кроме малых нефтепродуктовозов и газозов) имеют продольные переборки. Обычно танкера длиной менее 200...250 м имеют одну продольную переборку в ДП, а более крупные – две переборки симметрично ДП.

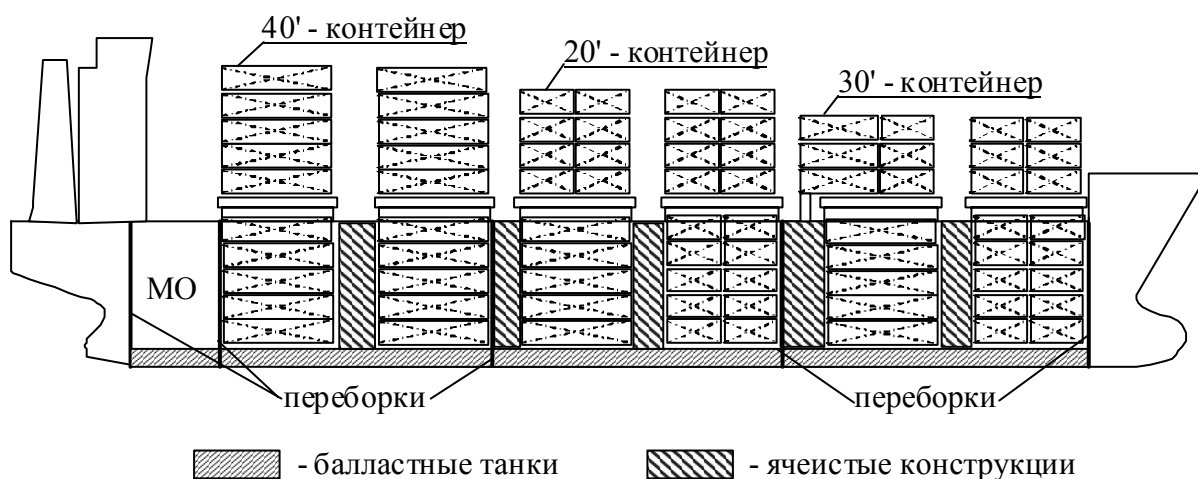


Рис. 1.1. Типовое сечение фидерного ячеистого контейнеровоза

Для танкеров следует учитывать требования МАРПОЛ 73/78, в частности, требования к устройству двойных бортов:

- танкера дедвейтом  $DW \geq 5000$  т должны иметь двойные борта шириной не менее  $b = 0,5 + DW/20\,000$  (м) или 2 м (в зависимости от того, что меньше), кроме этого, ширина двойного борта должна быть не менее 1 м;
- танкера дедвейтом  $DW < 5000$  т должны иметь двойные борта шириной не менее  $b = 0,4 + 2,4 \cdot DW/20\,000$  (м) и не менее 0,76 м. Если объём каждого грузового танка не превышает  $700 \text{ м}^3$ , в этом случае допускается использование одинарных бортов.

Кроме того, по требованиям МАРПОЛ 73/78 длина любого грузового танка не должна превышать 10 м или одной из следующих величин, в зависимости от того, что больше:

- при отсутствии продольных переборок  $(0,5 \cdot b/B + 0,1)L$ , но не более  $0,2L$ ;
- при одной продольной переборке в ДП  $(0,25 \cdot b/B + 0,15)$ ;
- при двух продольных переборках  $0,2L$ .

Грузовое пространство танкеров отделено от МО и форпика коффердамами (короткими пустыми отсеками длиной обычно в одну шпацию).

Типичное расположение танков приведено на рис. 1.2.

Ширина грузовых люков на всех типах судов обычно не превышает 13 м, а длина – 18 м. На судах длиной более 160 м и шириной более 17 м рекомендуется делать парные люки, а при ширине более 30 м – тройные люки. Ширина каждого парного (тройного) люка обычно равна 7...8 м.

Размеры грузовых люков следует принимать с учетом размеров шпации продольного и поперечного набора, а для контейнеровоза – с учетом размеров контейнеров.

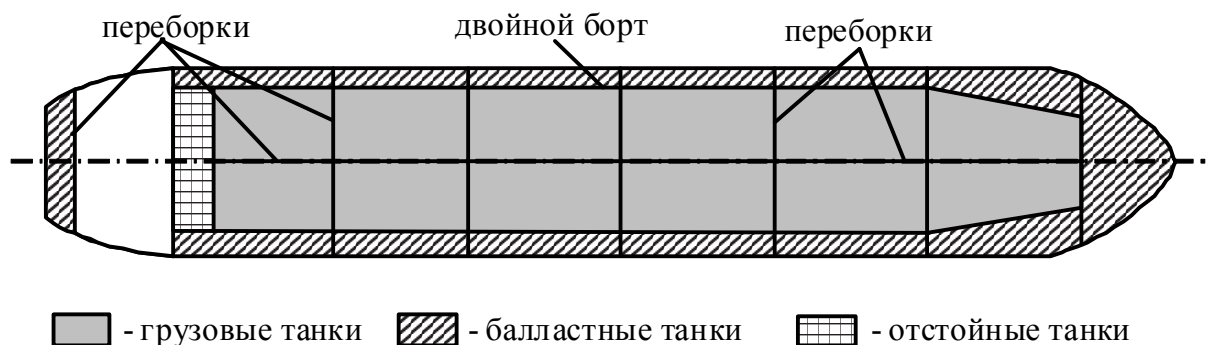


Рис. 1.2. Типичное расположение переборок танкера

Приведенные рекомендации по размерам трюмов и люков для выполнения курсового или дипломного проекта могут быть недостаточными. В этом случае рекомендуем ознакомиться со специальной литературой [3; 4; 6; 7; 8; 14; 15; 18].

В заключение этого этапа курсового проекта следует выполнить предварительные эскизы (схемы) общего расположения основных конструктивных элементов судна:

- 1) продольный разрез с размеченными шпациями поперечного набора, положением переборок, с указанием размеров трюмов и люков;
- 2) поперечное сечение в средней части с размеченными шпациями продольного набора и расположения комингсов грузовых люков.

### 1.3. Выбор систем набора перекрытий корпуса

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?

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. 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» [5]. 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.

Этим же основным принципом независимо от длины судна следует руководствоваться при выборе системы набора поперечных переборок, перекрытий в оконечностях судна, в коротких надстройках. Так же это касается нижних палуб и бортов – перекрытий, расположенных в районе нейтральной оси эквивалентного бруса, где невелики нормальные напряжения от общего продольного изгиба корпуса.

С увеличением длины судна растут напряжения от общего продольного изгиба корпуса, особенно на удалении от нейтральной оси: в верхней палубе и 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, однако 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 поперечного сжатия.

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.

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

#### **1.4. Выбор материала корпусных конструкций**

В качестве основного материала корпуса морских судов используется сталь. Для надстроек и рубок допускается применение алюминиевых сплавов.

При выборе стальных листов и профилей для изготовления конструкций следует учитывать множество факторов. Среди них отметим: сте-



пень ответственности связи (исходя из последствий их возможного разрушения для безопасности судна); характер напряжённого состояния элемента конструкции; низкие температуры эксплуатации – конструкций судов ледового плавания, рефрижераторов, газозовов и т.п. (так как при низких температурах возможны хрупкие разрушения); прочностные и пластические свойства стали (предел текучести, предел прочности, относительное удлинение); коррозионную стойкость; стоимость стального проката.

Корпусную сталь можно подразделять по категориям (определяемым Правилами Регистра и МАКО), виду проката (листовой, профильный), толщинам и габаритным размерам.

В обозначении категории стали используется буква (А, В, D, Е или F), определяющая стойкость к хрупким разрушениям и «нормируемое качество» по мере возрастания. Кроме буквы в обозначении сталей повышенной прочности присутствует число (32, 36 или 40), определяющее верхний предел текучести стали  $R_{eH}$ , кгс/мм<sup>2</sup>.

Гарантированный (нормативный) предел текучести стали при растяжении  $\sigma_n$ , МПа, определяется в виде

$$\sigma_n = 235/\eta,$$

где  $\eta$  – коэффициент использования механических свойств стали, который определяется по формуле

$$\eta = \frac{235}{R_{eH}} \left( 1 + 0,16 \left( \frac{R_{eH}}{235} - 1 \right)^{1,5} \right). \quad (1.1)$$

В первом приближении при выборе стали корпуса судна можно ориентироваться на табл. 1.2.

Уточнять этот выбор следует в процессе проектирования конкретного элемента конструкции корпуса с учётом группы связи (табл. 1.3 (1.2.3.7-)), её толщины и расчётной температуры – в соответствии с рис. 1.3 (1.2.3.1).

Таблица 1.2

Выбор материала корпуса в первом приближении

Длина судна $L$ , м	Категории стали	Верхний пре- дел текучести $R_{eH}$ , МПа	Нормативный предел текуче- сти $\sigma_n$ , МПа
Менее 120	А, В, D, Е	235	235
100...160	A32, D32, E32, F32	315	301
140...200	A36, D36, E36, F36	355	326
Более 200	A40, D40, E40, F40	390	345

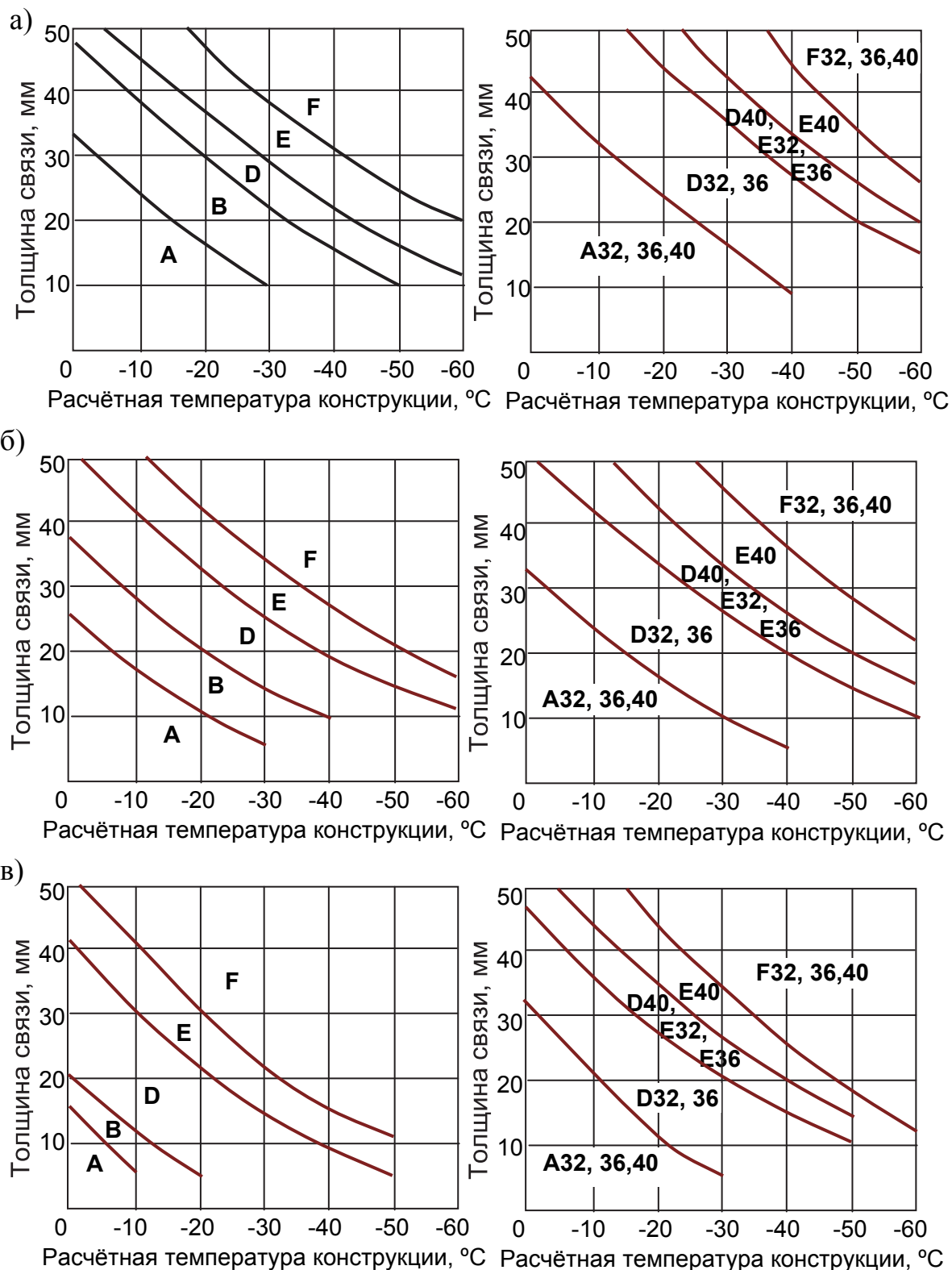


Рис. 1.3. Выбор категории стали: а – для группы связей I; б – для группы связей II; в – для группы связей III

Таблица 1.3

## Группы связей\*

Связи корпуса	Группа связи	
	в средней части	в оконечностях
Ширстрек, палубный стрингер, непрерывные продольные комингсы, листы в углах грузовых люков, окончания продольных стенок надстроек, скуловой пояс	III	II
Листы в углах бортовых вырезов, обшивка и сварной набор в районе I ледовых усилений ледоколов и судов категорий Arc7, Arc6, Arc5	II	II
Прочие непрерывные пояса расчётной палубы, подпалубных цистерн, верхние пояса продольных переборок, пояса обшивки днища и настила второго дна, обшивка надстроек и рубок первого яруса, продольные балки верхней части корпуса, прерывистые продольные комингсы расчётной палубы	II	I
Остальные связи	I	I

Расчётная температура конструкции  $T_P$  определяется минимальной температурой окружающей её среды (1.2.3.2 – 1.2.3.6-). Так, для наружных конструкций выше ватерлинии эта температура принимается равной минимальной температуре окружающего воздуха  $T_A$ . Для наружных конструкций подводной части принимается  $T_P = 0$ .

Если с разных сторон связи находятся разные среды, то температуру можно усреднить:

– при контакте с наружным воздухом и воздухом внутри закрытых танков, надстроек, рубок и т.п.  $T_P = 0,7 T_A$ ;

– при контакте с наружной водой и воздухом в трюме  $T_P = 0,4 T_A$ .

С учетом категории ледовых усилений (приложение 5) температуру  $T_A$  можно принять равной (1.2.3.3-):

– 40 °С – для судов ледовых категорий от Arc5 до Arc9 и ледоколов категорий от Icebreaker7 до Icebreaker 9;

– 30 °С – для судов ледовой категории Arc4 и ледоколов категории Icebreaker 6;

– 10 °С – для судов ледовой категории Ice2 и Ice3;

– 0 °С – для судов категории Ice1 и без ледовых усилений.

\* При длине судна менее 40 м группа связей определяется только последней колонкой таблицы (как в оконечностях).

Для конструкций со сложным напряжённым состоянием и высоким уровнем концентрации напряжений, а также подверженных динамическим нагрузкам (например, от ударов при швартовках судна в море), сталь категории А не допускается (рекомендуются категории D или E).

### 1.5. Определение расчётных нагрузок

Размеры большинства конструкций корпуса судна определяются действующими на них внешними нагрузками. Нагрузки условно делятся на общие (определяющие изгиб корпуса судна в целом) и местные (вызывающие напряжение и деформацию отдельных конструкций).

На первом этапе проектирования конструкции корпуса рассчитываются на местные нагрузки. Общие нагрузки учитываются на следующем этапе – при расчёте эквивалентного бруса судна. В этом подразделе приведены основные указания по расчёту местных нагрузок (1.3).

Обычно на ту или иную связь корпуса в разных условиях эксплуатации судна действуют разные по характеру нагрузки, часто одновременно. При проектировании связей следует учитывать все возможные сочетания внешних усилий. За расчётную нагрузку принимается наибольшая из всех возможных. Конечно, это не означает, что требуется выполнять подробные расчёты всевозможных нагрузок – в большинстве случаев достаточно простых рассуждений для определения наиболее опасного внешнего воздействия.

Например, на обшивку борта танкера может действовать давление со стороны моря и давление жидкости в бортовом танке. Однако очевидно, что второй вид нагрузки всегда уравновешивается противодействием снаружи. Поэтому расчётным давлением будет давление со стороны моря при пустом бортовом танке.

Суда, эксплуатирующиеся в морях с замерзающими районами и в арктических широтах, а также ледоколы должны выдерживать довольно опасные и трудно прогнозируемые ударные нагрузки ото льда. Поэтому конструкция и размеры связей борта таких судов определяются именно этими нагрузками. Их определение в упрощённом виде рассмотрено в подразделе 3.5.

Точками приложения расчётной нагрузки, если специально не указано, следует считать:

- в вертикальной пластине – нижнюю кромку;
- в балке – середину пролёта;
- на участке перекрытия – центр площади давления.

### 1.5.1. Нагрузки со стороны моря

Давление со стороны забортной воды определяется по формулам (1.3.2):

- для точек поверхности судна выше ГВЛ

$$p = p_w; \quad (1.2)$$

- ниже ГВЛ

$$p = p_w + p_{st} = p_w + 10z, \quad (1.3)$$

где  $p_w$  – волновое давление, кПа;  $p_{st}$  – гидростатическое давление, кПа;  $z$  – отстояние расчётной точки от ГВЛ, м.

Волновое давление определяется по формулам:

- для точек выше ГВЛ

$$p_w = p_{wo} - 7,5 a_x z; \quad (1.4)$$

- ниже ГВЛ

$$p_w = p_{wo} - 1,5 c_w z/d, \quad (1.5)$$

где

$$p_{wo} = 5 c_w a_v a_x \geq 3 c_w;$$

$$a_x = 0,267 \text{ (для средней части судна);}$$

$$a_v = 0,8 v_o (0,001 L + 0,4) / \sqrt{L} + 1,5;$$

$c_w$  – волновой коэффициент, вычисляемый по формулам:

$$\left. \begin{aligned} & \text{– при } L \leq 90 \text{ м} \quad c_w = 0,0856L\varphi_r; \\ & \text{– при } 90 < L < 300 \text{ м} \quad c_w = (10,75 - (3 - 0,01L)^{3/2}) \varphi_r; \\ & \text{– при } 300 \leq L \leq 350 \text{ м} \quad c_w = 10,75. \end{aligned} \right\} \quad (1.6)$$

Коэффициент  $\varphi_r$  зависит от класса судна по району плавания (приложение 4):

$$\left. \begin{aligned} & \text{– для судов неограниченного района} \\ & \text{плавания и класса R1} \quad \varphi_r = 1; \\ & \text{– для класса R2} \quad \varphi_r = 1,25 - 0,0025L \leq 1; \\ & \text{– для класса R2-RSN} \quad \varphi_r = 1 - 0,002L; \\ & \text{– для класса R2-RSN(4,5)} \quad \varphi_r = 0,94 - 0,0019L; \\ & \text{– для класса R3-RSN} \quad \varphi_r = 0,86 - 0,0018L; \\ & \text{– для класса R3} \quad \varphi_r = 0,75 - 0,0018L. \end{aligned} \right\} \quad (1.7)$$

### 1.5.2. Ускорения судна при качке

Расчётные ускорения в продольном, поперечном горизонтальном и вертикальном направлениях при качке судна определяются по формулам (1.3.3)

$$\begin{aligned} a_x &= \sqrt{a_{cx}^2 + a_{кx}^2 + 0,4a_{\bar{ox}}^2}, \\ a_y &= \sqrt{a_{cy}^2 + a_{ky}^2 + 0,4a_{\bar{oy}}^2}, \\ a_z &= \sqrt{a_{cz}^2 + a_{kz}^2 + 0,4a_{\bar{oz}}^2}, \end{aligned} \quad (1.8)$$

где

$$\begin{aligned} a_{cx} &= 0,1(100/L)^{1/3} g\varphi_r; & a_{cy} &= 2a_{cx}; & a_{cz} &= 2a_{cx}; \\ a_{кx} &= (2\pi/T_k)^2 \psi z_0; & a_{ky} &= 0; & a_{kz} &= (2\pi/T_k)^2 \psi x_0; \\ a_{\bar{ox}} &= 0; & a_{\bar{oy}} &= (2\pi/T_{\bar{o}})^2 \theta z_0; & a_{\bar{oz}} &= (2\pi/T_{\bar{o}})^2 \theta y_0, \end{aligned}$$

где  $\varphi_r$  определяется по формулам (1.7);  $T_k$  и  $T_{\bar{o}}$  – соответственно периоды килевой и бортовой качки, определяемые по формулам

$$T_k = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + (0,0004L + 0,16)v_0/\sqrt{L}}; \quad T_{\bar{o}} = cB/\sqrt{h}, \quad (1.9)$$

здесь  $c$  – коэффициент, определяемый по прототипу судна (в первом приближении  $c = 0,8$ );  $h$  – метацентрическая высота для наиболее неблагоприятных условий эксплуатации (если нет более точных данных, для судна в грузу можно принять  $h = 0,07B$ ), м. Для наливного судна в балласте  $T_{\bar{o}}$  в первом приближении можно определить по формуле  $T_{\bar{o}} = 3\sqrt[3]{B}$ .

Расчетные углы дифферента  $\psi$  и крена  $\theta$ , рад, определяются по формулам

$$\psi = 0,23\varphi/(1 + 0,01L); \quad \theta = 0,6\varphi_r/(1 + 0,005L). \quad (1.10)$$

В формулы (1.10) при  $L \leq 40$  м следует подставлять  $L = 40$  м.

Координаты  $x_0$ ,  $y_0$  и  $z_0$  определяют отстояние рассматриваемой точки от центра тяжести судна (соответственно по длине, ширине и высоте), м. В курсовом проекте  $z_0$  можно приближённо определить по формуле  $z_0 = |z_{\pi} - D/1,91|$ , где  $z_{\pi}$  – отстояние рассматриваемой точки от ВП. Для района миделя можно принять  $x_0 = 0$ .

Коэффициент  $\varphi$  зависит от класса судна по району плавания:

$$\left. \begin{aligned} & - \text{ для судов неограниченного района плавания } \varphi = 1; \\ & - \text{ для класса R1 } \varphi = 1,1 - 0,0023L \leq 1; \\ & - \text{ для класса R2 } \varphi = 1 - 0,0025L; \\ & - \text{ для класса R2-RSN } \varphi = 0,94 - 0,0026L; \\ & - \text{ для класса R2-RSN(4,5) } \varphi = 0,71 - 0,0022L; \\ & - \text{ для класса R3-RSN } \varphi = 0,71 - 0,0022L; \\ & - \text{ для класса R3 } \varphi = 0,60 - 0,002L. \end{aligned} \right\} \quad (1.11)$$

Ускорение  $a_z$ , м/с<sup>2</sup>, для района миделя можно определить по более простой формуле:

$$a_z = 0,9g / \sqrt[3]{L}. \quad (1.12)$$

В этой формуле при  $L < 80$  м следует подставлять  $L = 80$  м.

### 1.5.3. Давления от груза и балласта

Давление, кПа, от штучного груза на грузовые палубы, платформы и двойное дно определяется по формуле (1.3.4.1)

$$p_r = \rho_r gh(1 + a_z / g) \geq 20, \quad (1.13)$$

где  $h$  – расчетная высота укладки груза, м;  $\rho_r$  – плотность груза, т/м<sup>3</sup> (приложение б);  $a_z$  – ускорение, определяемое по формулам (1.8) – (1.11) или (1.12).

Давление на конструкции отсеков и цистерн, полностью заполненных жидким грузом, балластом или топливом, определяется как большее из расчётов по следующим формулам (1.3.4.2-):

$$\begin{aligned} p_r &= \rho_r gz(1 + a_z / g), \\ p_r &= \rho_r g(z + b\theta), & p_r &= \rho_r g(z + l\psi), \\ p_r &= 0,75\rho g(z + \Delta z), & p_r &= \rho_r gz + p_k, \end{aligned} \quad (1.14)$$

где  $\rho_r$  – плотность груза, балласта или топлива, т/м<sup>3</sup>;  $z$  – отстояние рассматриваемой связи от палубы (крыши цистерны), измеренное в ДП, м;  $\theta$  и  $\psi$  – углы крена и дифферента, определяемые по формуле (1.10), рад;  $\Delta z$  – высота воздушной трубы над палубой (крышей цистерны), м, принимается не менее 1,5 м для балластных цистерн сухогрузов и не менее 2,5 м для танков наливных судов и цистерн топлива;  $l$  и  $b$  – соответственно длина и ширина отсека, м;  $p_k$  – давление, на которое отрегулирован предохра-

нительный клапан (если он установлен), но не менее 15 кПа для балластных цистерн сухогрузов и не менее 25 кПа для танков наливных судов и цистерн топлива.

Расчетное давление, кПа, от навалочного груза определяется по формуле (1.3.4.3)

$$p_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} g z (1 + a_z / g) k_{\Gamma} \geq 20, \quad (1.15)$$

где  $z$  – отстояние рассматриваемой связи от уровня свободной поверхности груза, м;  $k_{\Gamma}$  – коэффициент, равный

$$k_{\Gamma} = \sin^2 \alpha - \operatorname{tg}^2 (45^{\circ} - 0,5\varphi_{\text{вт}}) + \cos^2 \alpha \quad \text{или} \quad k_{\Gamma} = \cos \alpha$$

в зависимости от того, что больше; здесь  $\alpha$  – угол наклона стенки к ОП, град;  $\varphi_{\text{вт}}$  – угол внутреннего трения навалочного груза, град.

Давление на второе дно определяется по формуле (1.15) при  $k_{\Gamma} = 1$ .

## 1.6. Определение толщины листовых элементов корпуса

Толщина настила или обшивки  $s$ , мм, загруженных поперечной нагрузкой, должна быть не менее (1.6.4.4)

$$s = m a k \sqrt{\frac{p}{k_{\sigma} \sigma_n}} + \Delta s, \quad (1.16)$$

где  $m$ ,  $k_{\sigma}$  – коэффициенты изгибающего момента и допускаемых напряжений, определяемые в зависимости от вида и расположения листа в соответствующих разделах;  $k = 1,2 - 0,5a/b$ , но не более 1; здесь  $a$  и  $b$  – соответственно меньший и больший размеры сторон пластины, м.

Пластиной считается часть листа, ограниченная с четырёх сторон приваренными к нему связями (рис. 1.4).

Запас толщины на коррозию  $\Delta s$ , мм (1.1.5-), определяется по формуле

$$\Delta s = u (T - 12); \quad (1.17)$$

где  $T$  – планируемый срок службы (если он не установлен, то следует принимать  $T = 24$  г);  $u$  – средний износ связи за год, мм/г (табл. 1.4).

В табл. 1.4 группа I соответствует сухогрузным судам и аналогичным им по условиям эксплуатации, а группа II – наливным, навалочным, комбинированным судам и аналогичным им по условиям эксплуатации.



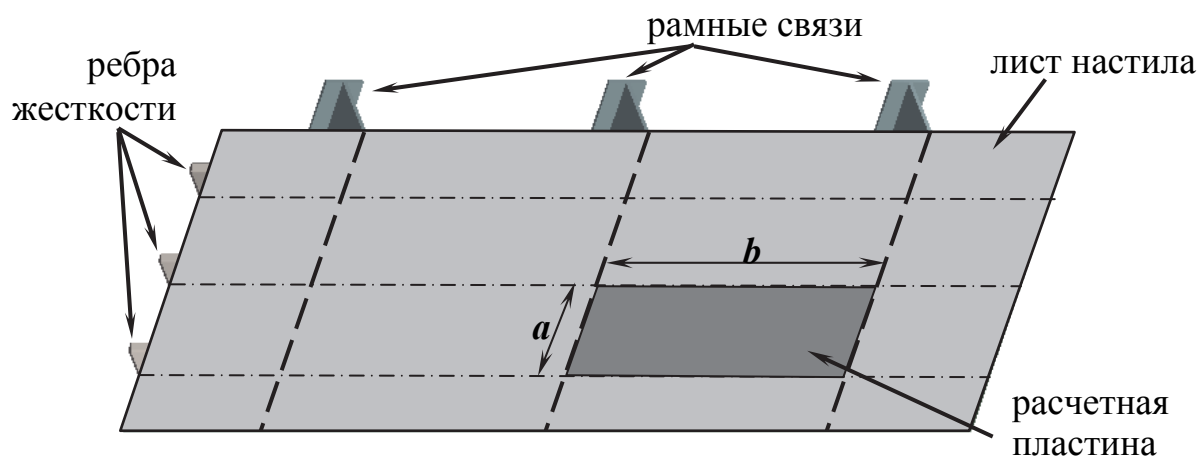


Рис. 1.4. Пример пластины

Таблица 1.4  
Среднегодовое уменьшение толщины судовых конструкций

Элемент конструкции корпуса	$u$ , мм/г по группам судов	
	I	II
$l$	2	3
<b>НАСТИЛ ПАЛУБ И ПЛАТФОРМ</b>		
Верхняя палуба (в числителе – для наливных судов)	0,1	0,2/0,15
Нижняя палуба	0,11	-
Палуба в жилых и производственных помещениях	0,14	0,14
<b>БОРТОВАЯ ОБШИВКА</b>		
Одинарный борт:		
надводный	0,1	0,13
в районе переменных ватерлиний	0,17	0,19
ниже района переменных ватерлиний	0,14	0,16
При двойном борте (внутренний объём не служит для заполнения):		
надводный	0,1	0,1
в районе переменных ватерлиний	0,17	0,17
ниже района переменных ватерлиний	0,14	0,14
При двойном борте (внутренний объём заполняется топливом / балластом):		
надводный	0,19/0,21	0,19/0,21
в районе переменных ватерлиний	0,18/0,21	0,18/0,21
ниже района переменных ватерлиний	0,17/0,18	0,17/0,18

Продолжение табл. 1.4

1	2	3
<b>ДНИЩЕВАЯ ОБШИВКА</b>		
В районе балластных отсеков	0,2	0,2
В топливных цистернах (одинарное дно / двойное дно)	0,17/0,15	0,17/0,15
В районе грузовых танков	-	0,17
В остальных случаях, включая скулу	0,14	0,14
<b>НАСТИЛ ВТОРОГО ДНА И НИЖНИХ ЦИСТЕРН</b>		
В районе топливных цистерн	0,12	0,17
В районе балластных отсеков	0,15	0,2
В районе МО / КО	0,2/0,3	0,2/0,3
Междудонный лист	0,2	0,22
Если грузовые операции выполняются грейферами	0,3	0,3
Наклонные стенки скуловых цистерн и под поперечными переборками:		
нижний пояс	0,25	0,3
остальные пояся	0,12	0,17
<b>ОБШИВКА ПЕРЕБОРОК И ВНУТРЕННИХ БОРТОВ</b>		
Непроницаемая переборка между грузовыми отсеками:		
верхний пояс (для наливного / навалочного груза)	0,1	0,2/0,13
нижний пояс	0,13	0,18
остальные пояся (для наливного / навалочного груза)	0,12	0,13/0,18
Переборка между грузовым и балластным отсеками:		
верхний пояс	0,13	0,3
средние пояся	0,15	0,25
нижний пояс	0,16	0,2
Подпалубные цистерны	0,12	0,2
<b>НАБОР ПАЛУБ И ПЛАТФОРМ (основной / рамный набор)</b>		
Для сухогрузов и наливных судов	0,12	0,25/0,2
Для навалочников	-	0,15/0,13
Для комбинированных судов	-	0,18/0,15
В топливных цистернах	0,15/0,19	0,17/0,19
В балластных отсеках	0,18/0,21	0,2/0,21
Комингсы грузовых люков	0,1	0,12
<b>НАБОР БОРТОВ И ПЕРЕБОРОК</b>		
Для сухогрузов и наливных судов	0,1	0,2
Для навалочников	-	0,13
Для комбинированных судов	-	0,15

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
В топливных цистернах	0,18	0,18
В балластных отсеках	0,21	0,21
<b>НАБОР ДНИЩА И ВТОРОГО ДНА</b>		
При контакте с балластом или наливным грузом	0,2	0,2
В топливных цистернах	0,15	0,15
В остальных случаях (кроме районов под котлами)	0,14	0,14
<b>ОБШИВКА И НАБОР НАДСТРОЕК, РУБОК И ФАЛЬШБОРТА</b>	0,1	0,1

### 1.7. Подбор профиля балок набора

Набор корпуса судна состоит из балок. Балки, расстояние между которыми равно одной шпации, образуют основной набор. Эти балки являются основными опорами для обшивки (настилов) и обычно имеют катаный профиль (за исключением основного набора крупнотоннажных судов).

Изгибные напряжения в балках пропорциональны  $l^2$  ( $l$  – пролёт, расстояние между опорами балки). Поэтому при большом пролёте балок основного набора их приходится делать слишком мощными и тяжёлыми. Для облегчения этих балок (а значит, и всего перекрытия) устраивают промежуточные опоры в виде жёстких, так называемых рамных балок набора. Балки рамного набора обычно имеют тавровый сварной профиль.

Балки изгибаются совместно с прилегающей частью обшивки (настила), называемой **присоединённым пояском**, условная ширина которого  $a_{\text{пп}}$  определяется по Правилам Регистра (1.6.3.3) и (1.6.3.4) части II. Если учесть, что эта ширина не очень существенно влияет на момент сопротивления профиля, то можно использовать следующие упрощённые рекомендации. Для балок однородного набора можно принять  $a_{\text{пп}}$  равной шпации. Для основного набора, подкреплённого рамными балками,  $a_{\text{пп}}$  следует принимать равной одной шестой от пролёта основных балок. Для рамных балок, если их менее трёх и они расположены редко, можно принять  $a_{\text{пп}} = l/6$ . В остальных случаях для рамных балок  $a_{\text{пп}} = l/8$ . Для рамных балок, подкрепляющих гофрированную обшивку,  $a_{\text{пп}}$  принимается равной 15 толщинам гофров коробчатого профиля или 20 толщинам волнистых гофров.

При подборе балки набора по критерию прочности на местные нагрузки следует вначале определить требуемый Правилами Регистра момент сопротивления профиля  $W'$ , см<sup>3</sup>, а для высоких коротких (обычно рамных) балок – ещё и площадь сечения стенки  $f_c'$ , см<sup>2</sup>, без учёта износа (1.6.4.1 – 1.6.4.3-):

$$W' = \frac{Ql}{mk_{\sigma}\sigma_n} 10^3; \quad (1.18)$$

$$f'_c = \frac{10N_{\max}}{k_{\tau}\tau_n}; \quad (1.19)$$

где  $Q = pal$  – поперечная нагрузка, кН;  $N_{\max} = pral$  – наибольшая перерезывающая сила, кН;  $m, n, k_{\sigma}, k_{\tau}$  – соответственно коэффициенты изгибающего момента, перерезывающих сил и допускаемых напряжений, определяемые отдельно для конкретных видов балок;  $\tau_n = 0,57\sigma_n$  – нормативный предел текучести по касательным напряжениям, МПа.

**Выбор балки катаного профиля** производится по сортаментам (приложение 7) таким образом, чтобы момент сопротивления её профиля был не меньше требуемого с учётом поправки на коррозионный износ  $\omega_k$  (1.1.5.3-):

$$W \geq W'\omega_k; \quad (1.20)$$

$$\omega_k = 1 + \alpha_k \Delta s; \quad \alpha_k = 0,07 + 6,7/W' \leq 0,25;$$

где  $\Delta s$  – запас толщины на коррозию, мм, вычисляемый по формуле (1.17).

**Подбор сварного профиля** рекомендуется выполнять в следующей последовательности:

1) Задается толщина стенки  $s_c$ . Она должна быть не менее величины  $s_{\min}$  (так называемой минимальной толщины), определяемой Правилами для конкретных конструкций. Рекомендуется, чтобы  $s_c$  не превышала толщины подкрепляемой обшивки (настила).

2) Определяется высота стенки по формуле ( $s_c$  здесь подставляется в сантиметрах):

$$h = 1,16\sqrt{W'/s_c}.$$

3) Проверяется условие, по которому площадь сечения стенки за вычетом вырезов должна быть не менее  $f'_c$ , вычисленной по формуле (1.19):

$$f_c^* = (h - h_b)s_c \geq f'_c,$$

где  $h_b$  – высота выреза, см. Если это условие не выполняется, увеличьте  $s_c$ .

4) Вычисляется площадь сечения полки  $f_{\Pi}$

$$f_{\Pi} = W'|h - f'_c|k, \quad (1.21)$$

где  $f_c = h s_c$  – площадь сечения стенки, см<sup>2</sup>;  $k = 4,5$ .

5) Уточняется параметр  $k$  по формуле

$$k = \frac{12f_{\Pi\Pi} + 6f_c}{4f_{\Pi\Pi} - 2f_{\Pi} + f_c},$$

где  $f_{\text{пп}} = a_{\text{пп}} s$  – площадь сечения присоединённого пояска,  $\text{см}^2$ ; здесь  $s$  – толщина обшивки (настила),  $\text{см}$ .

6) Уточняется площадь сечения полки по формуле (1.21).

7) Выбираются размеры полки. Полка должна быть толще стенки не менее чем на 2...3 мм, но не более чем в три раза. Ширина полки,  $\text{см}$ ,

$$b_{\text{п}} = f_{\text{п}}/s_{\text{п}}; \quad b_{\text{п}} \leq 400 \cdot s_{\text{п}}/\sqrt{R_{eH}}; \quad b_{\text{п}} \geq 5s_{\text{п}},$$

где  $s_{\text{п}}$  – толщина полки,  $\text{см}$ .

8) Вычисляется фактический момент сопротивления профиля

$$W_{\phi} = h(f_{\text{п}} + f_{\text{с}}/k)$$

и проверяется условие  $W_{\phi} \geq W'$ . Если оно не выполняется, увеличьте высоту стенки или размеры полки.

9) К толщинам стенки и полки далее следует добавить запас на коррозию  $\Delta s$ .

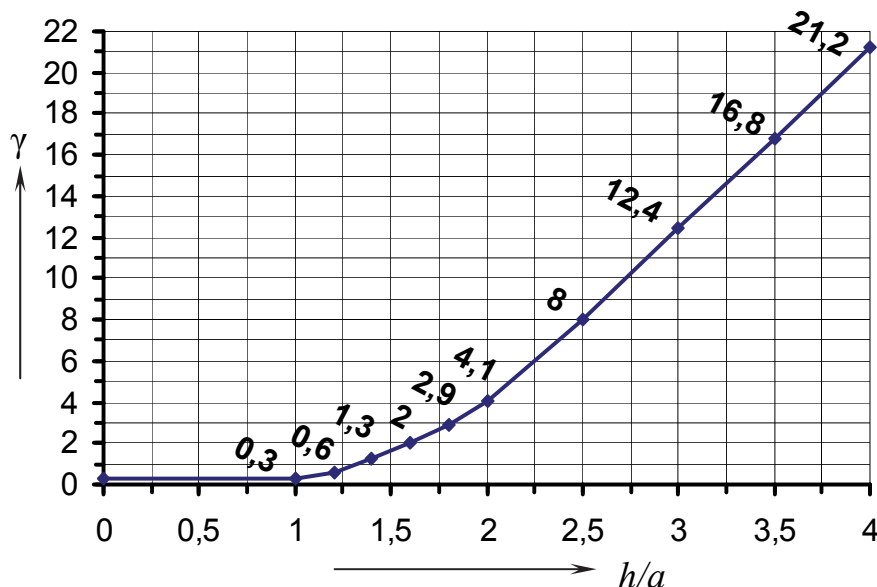


Рис. 1.5. Определение коэффициента  $\gamma$

**Рёбра жёсткости по стенкам рамного набора** подбираются по моменту инерции профиля  $i$ ,  $\text{см}^4$  (1.6.5.6):

а) для рёбер жёсткости, перпендикулярных к пояску рамной балки,

$$i \geq \gamma a s_c^3 / 1000,$$

где  $\gamma$  – коэффициент, определяемый по графику на рис. 1.5;  $a$  – расстояние между рёбрами,  $\text{м}$ ;  $s_c$  – толщина стенки рамной балки,  $\text{мм}$ ;

б) для рёбер жёсткости вдоль рамной балки

$$i \geq 0,01 \sigma_n l^2 (f + 10 a s_c),$$

где  $l$  – пролёт ребра жёсткости, м;  $f$  – площадь профиля ребра, см<sup>2</sup>.  
Толщина ребра жесткости должна быть не менее  $0,8s_c$ .

### 1.8. Стенки рамных балок: подкрепление и вырезы

Рамные балки, имеющие отношение высоты к толщине стенки  $h/s_c > 60$ , должны быть подкреплены ребрами жесткости и кницами (1.7.3.2-).

Наиболее высокие балки, имеющие  $h/s_c \geq 160\sqrt{\eta}$ , подкрепляются кницами и ребрами жесткости вдоль балки (рис. 1.6, а). При  $h/s_c < 160\sqrt{\eta}$  подкрепление может выполняться поперечными ребрами жесткости (рис. 1.6, б).

Расстояние между ребрами жесткости  $a \leq 90s_c\sqrt{\eta}$ , а в районах опор (ближе  $1,5h$  от опор)  $a \leq 60s_c\sqrt{\eta}$ .

Расстояние между кницами, подкрепляющими рамную балку, не должно превышать 3,0 м или  $15b_{п}$  ( $b_{п}$  – ширина пояска). Кницы устанавливаются у скруглений рамной балки, а также у распорок, упирающихся в рамную балку. Толщина книц должна быть не менее толщины стенки рамной балки. Кницы должны доводиться до полки. Если ширина полки превышает 300 мм, кницы должны привариваться к ней. Ширина подкрепляющих книц должна быть не менее половины высоты. Ширина пояска или фланца кницы должна быть не менее  $l/s$  ( $l$  – длина свободной кромки кницы).

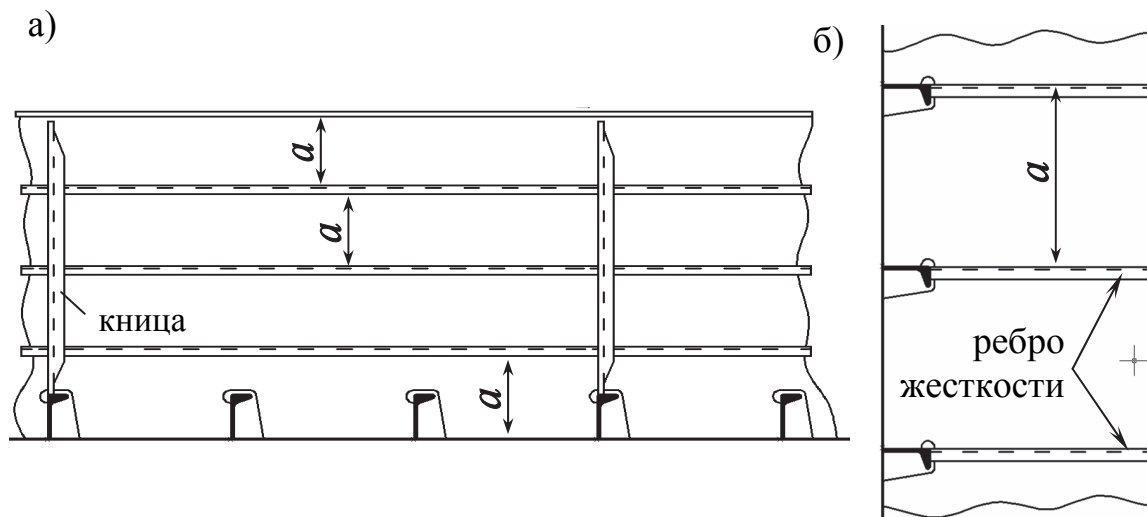


Рис. 1.6. Подкрепление стенки рамных балок

В стенках балок рамного набора допускаются вырезы для облегчения конструкции, прохода балок и т.п. Суммарная высота вырезов в одном сечении не должна превышать половины высоты балки.

Расстояние от кромок любых вырезов до кромок вырезов для прохода балок основного набора должно быть не менее высоты последних. Облегчающие вырезы должны располагаться от книц рамной балки не ближе половины её высоты.

## 1.9. Кницы

**В соединении балок основного набора** катеты книц  $c$ , см, определяются по формуле (1.7.2.2-)

$$c = 5\sqrt{W/s},$$

где  $W$  – момент сопротивления сечения меньшей из закрепляемых балок,  $\text{см}^3$ ;  $s$  – толщина кницы, мм.

Толщина кницы принимается равной толщине стенки закрепляемой балки. Она может быть уменьшена на 1 мм, если толщина стенки больше 7 мм; на 2 мм, если толщина стенки больше 12 мм. Высота кницы (рис. 1.7)  $h \geq 0,7c$ .

При длине свободной кромки кницы  $l > 45s$  она должна иметь пояс (фланец). Толщина пояса не должна быть меньше толщины кницы. Ширина фланца должна быть не менее 50 мм, ширина пояса – не менее 75 мм. Ширина фланца (полуширина пояса) должна быть не более  $200s/\sqrt{R_{eH}}$ .

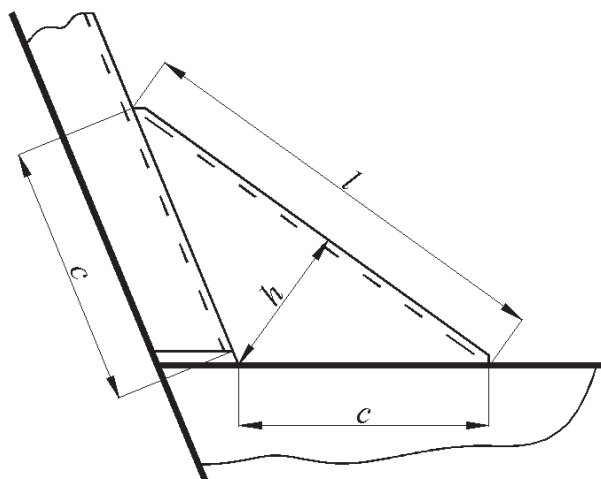


Рис. 1.7. Кница

При соединении балок кницами их торцы часто оставляют свободными, с технологическим зазором (рис. 1.8, а), который не должен превышать 40 мм или  $0,25c$  (в зависимости от того, что меньше). В районах интенсивной вибрации и сосредоточенных нагрузок (ледовых, от швартовок, слеминга и др.) кничные соединения выполняются при минимальных размерах участков обшивки (настила), не подкрепленных набором (рис. 1.8, б).

Размеры книц могут быть уменьшены (1.7.2.2):

- на 10 %, если балки привариваются одна к другой или к обшивке (настилу);
- на 15 % – при наличии фланца или пояса;
- на 25 %, если балки привариваются одна к другой, а кницы имеют пояс.

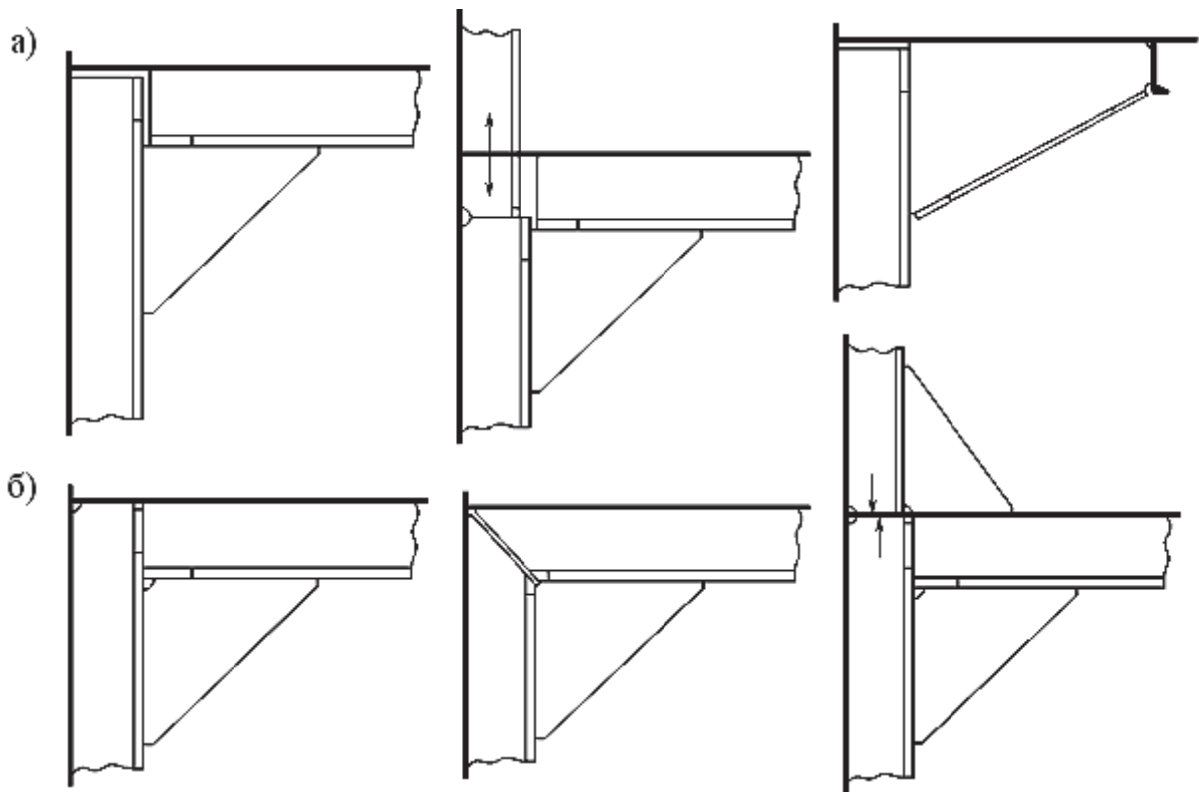


Рис. 1.8. Кничные соединения балок основного набора

**Соединения балок рамного набора** рекомендуется выполнять скругленными кницами. Кницы должны иметь по свободной кромке поясок, который рекомендуется делать плавно переходящим в пояски рамных балок. Катеты или радиусы скругления книц, соединяющих балки рамного набора, должны быть не менее высоты стенки рамной балки (1.7.2.3-).

Зазоры в соединениях рамных балок не допускаются.

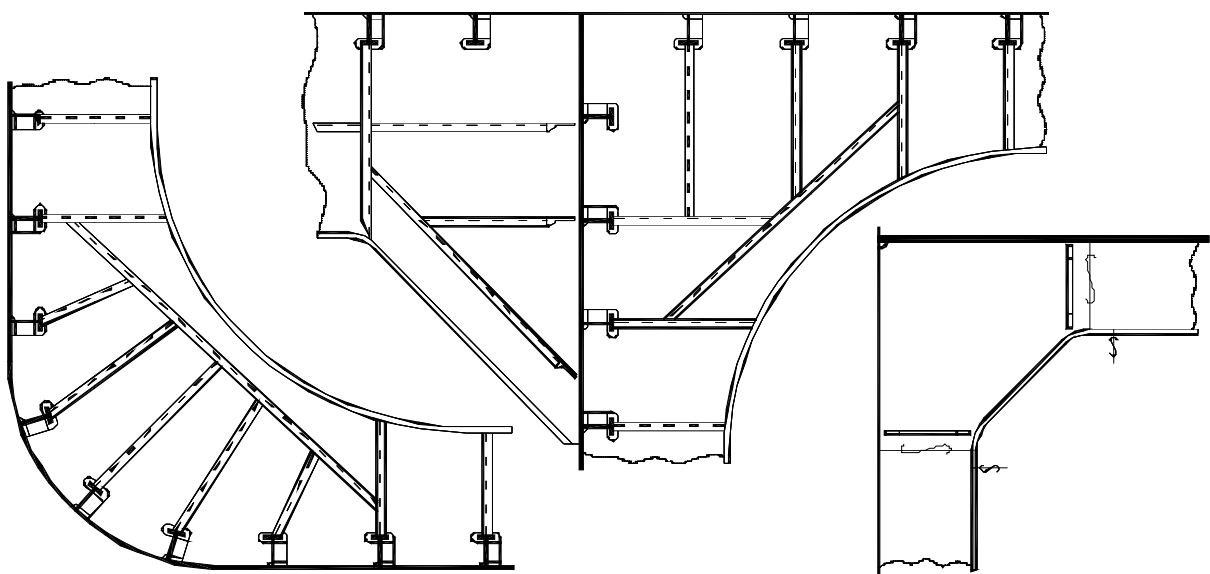


Рис. 1.9. Кничные соединения балок рамного набора



Если расстояние между концами кницы превышает  $160s\sqrt{\eta}$ , то параллельно линии, соединяющей концы кницы, на расстоянии  $a$  ( $a \leq 1/4h$ ;  $a \leq 35s$ ) должно быть установлено ребро жёсткости (рис. 1.9).

## 2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ ДНИЩА

Для обеспечения безопасности грузовых (кроме наливных) и пассажирских судов длиной более 50 м Правилами Регистра предусматривается устройство в их корпусе двойного дна от форпика до ахтерпика. Кроме того, двойное дно в этом районе обязательно для судов ледового плавания категорий Arc5 и выше.

Танкеры могут иметь одинарное днище. Однако МАРПОЛ 73/78 для нефтяных танкеров требует наличия междудонных танков изолированного балласта минимальной высотой  $B/15$  или 2 метра в зависимости от того, что меньше (но не менее 1 м при дедвейте судна более 5000 т и не менее 0,76 м при меньшем дедвейте).

Наливные и открытые суда длиной 80 м и более должны иметь продольную систему набора днища. Днище навалочных, нефтенавалочных и накатных судов должно быть двойным и иметь продольную систему набора.

### 2.1. Одинарное днище

Так как современными Правилами и международными требованиями одинарное днище допускается фактически только для небольших судов, система набора днища «напрашивается» поперечная.

В этом случае набор днища состоит из флоров, неразрезного вертикального кия (среднего кильсона) и разрезных на флорах кильсонов (расстояние между которыми не должно превышать 2,2 м).

Все балки должны иметь полки. Полки флоров и кильсонов свариваются между собой встык (рис. 2.1). Флоры могут иметь полки в виде отогнутых фланцев, – кроме районов МО и ахтерпика, а при длине судна более 30 м – также на протяжении  $0,25L$  от носового перпендикуляра (2.3.2.3).

Толщина обшивки днища в средней части определяется по формуле (1.16) при  $m = 15,8$ ;  $k_{\sigma} = 0,634 - 0,00283L$ .

Расчётное давление на обшивку днища вычисляется по формуле (1.3).

Толщина обшивки не должна быть менее (2.2.4.8):

– при  $L < 30$  м  $s_{\min} = 3,1 + 0,12L$ ;

– при  $L \geq 30$  м  $s_{\min} = 5,5 + 0,04L$ .

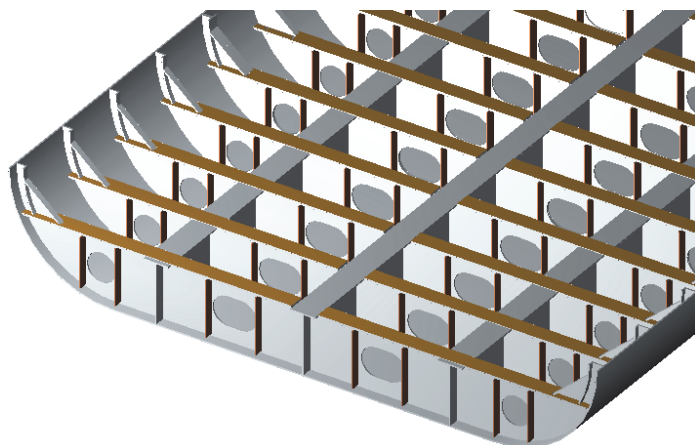


Рис. 2.1. Одинарное днище

Горизонтальный киль или шпунтовые поясья (примыкающие к брусковому килю) должны быть толще обшивки на 2 мм. Ширина горизонтального киля (либо двух шпунтовых поясьев) должна быть не менее  $0,8 + 0,005L$ , м (2.2.4.4).

Толщина скулового пояса должна быть не менее толщины обшивки днища.

Толщина стенок флоров и кильсонов, мм, должна быть не менее  $5,3 + 0,04L$ . Минимальная толщина стенки вертикального киля равна  $6,8 + 0,04L$ , но не более толщины горизонтального киля (2.3.4.3).

Высота флоров в ДП должна быть не менее  $0,055B_1$  ( $B_1$  – ширина трюма). Сечение флоров подбирается в соответствии с указаниями подраздела 1.7 как для балок сварного профиля с учётом формул (1.18) и (1.19) при  $m = 13$ ;  $k_\sigma = 0,6$ ;  $l = B_1$ ;  $p$  – такое же, как для обшивки днища, но не менее 35 кПа;  $N_{\max} = 0,4pa$ ;  $k_\tau = 0,6$  (2.3.4.1).

Момент сопротивления вертикального киля должен быть больше момента сопротивления флора в ДП не менее чем в 1,6 раза, а его высота – не менее высоты флора в ДП.

Момент сопротивления кильсона должен быть не менее момента сопротивления флора в ДП. Высота кильсона равна высоте флора в месте их соединения.

Флоры могут иметь вырезы высотой не более половины высоты флора и с центром посередине высоты флора. Расстояние между вырезами должно быть не менее высоты флора.

При наличии вырезов стенка флора должна быть подкреплена вертикальными рёбрами жёсткости, расстояние между которыми должно быть не более 90 толщин флора (см. рис. 2.1). Сечение рёбер подбирается по моменту инерции в соответствии с указаниями подраздела 1.7. Нижние концы рёбер срезаются «на ус» (рис. 2.2).

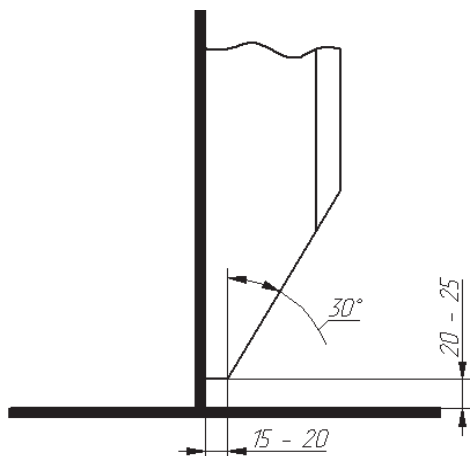


Рис. 2.2. Обрезка ребра жёсткости «на ус»

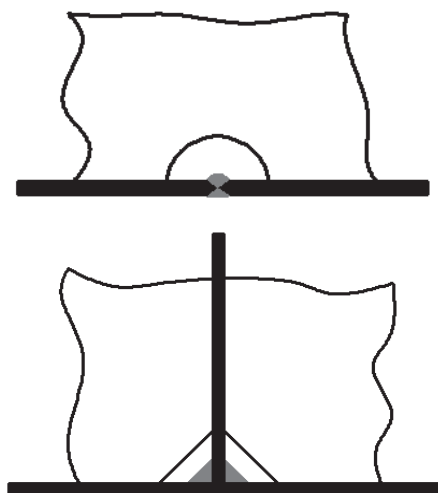


Рис. 2.3. Примеры голубниц и технологических вырезов

В нижней части стенок стрингеров и флоров должны быть голубницы для протока воды. Необходимо также предусмотреть вырезы для прохода сварных швов радиусом 20...30 мм (рис. 2.3).

## 2.2. Двойное днище

Конструкция двойного дна включает обшивку днища (в том числе горизонтальный киль и скуловые поясья), настил второго дна (в том числе крайний междудонный лист) и элементы набора (вертикальный киль, днищевые стрингеры, флоры и др.).

Высота двойного дна  $h$ , м, у киля должна быть не менее 0,65 м, а также

$$h \geq \frac{L - 40}{570} + 0,04B + 3,5 \frac{d}{L}. \quad (2.1)$$

На судах арктического плавания категорий Arc8 и Arc9 высота двойного дна должна быть не менее

$$h = \varphi(0,009L + 0,8),$$

где  $\varphi = 0,8$  для судов категории Arc8 и  $\varphi = 0,9$  для судов категории Arc9.

Вертикальный киль является непроницаемым. Вместо него может быть применён тоннельный киль, состоящий из двух непроницаемых стенок по обе стороны от ДП. Его ширина не должна превышать 1,9 м (2.4.2.3). Обшивка и настил второго дна внутри тоннельного киля подкрепляется бракетами или поперечными балками с кницами с интервалом в одну шпацию.

### **2.2.1. Конструкция двойного дна при поперечной системе набора**

В этом случае набор днища состоит из флоров, неразрезного вертикального киля и днищевых стрингеров (расстояние между которыми не должно превышать 4,2 м) (2.4.2.4). На судах арктического плавания категорий Arc8 и Arc9 расстояние между днищевыми стрингерами не должно превышать 3 м (3.10.2.7).

Флоры устанавливаются через одну шпацию. Для облегчения конструкции сплошные флоры чередуются с открытыми (бракетными или облегченными), при этом расстояние между сплошными флорами не должно превышать 5 шпаций или 3,6 м (в зависимости от того, что меньше). На судах категорий Arc8 и Arc9 расстояние между сплошными флорами не должно превышать 2 шпаций. Конструкция флоров приведена на рис. 2.4 (2.4.2.5).

Цистерны двойного дна по длине разделяются непроницаемыми флорами. Не допускаются вырезы и в вертикальном киле. В остальных случаях для облегчения и устройства лазов в стрингерах, флорах и бракетах рекомендуется делать вырезы.

При высоте флоров  $h > 0,9$  м по их стенкам ставятся вертикальные рёбра жёсткости, расстояние между которыми должно быть: для непроницаемых флоров – не более 0,9 м; для сплошных флоров – не более 1,5 м; для облегченных флоров – не более 2,2 м (2.4.2.6).

Применение облегченных и бракетных флоров не допускается в районах с повышенными местными нагрузками (2.4.2.5):

- в носовой оконечности (на длине  $0,25L$ );
- в МО и КО;
- в трюмах, в которых перевозятся тяжеловесные грузы, руда;
- в трюмах навалочных судов, разгружаемых грейферами.

Кроме этого, сплошные флоры должны стоять в местах действия сосредоточенных нагрузок (под пиллерсами, направляющими стойками контейнеров, фундаментами, концами книц поперечных переборок и т.п.).

Бракетные флоры не рекомендуются при высоте двойного дна более 1 м и не допускаются на судах арктического плавания категорий Arc8, Arc9 и на ледоколах.

Расстояние от кромки выреза флора или стрингера до обшивки днища или настила второго дна должно быть не менее  $1/8$  от длины выреза, а также не менее:  $0,25h$  – для стрингеров и сплошных флоров;  $0,2h$  – для облегченных флоров.

Длина выреза в облегченном флоре должна быть не более  $1,2h$  и не более  $0,7$  от ширины пластины флора. Отстояние вырезов в сплошных

флорах от стрингеров должно быть не менее  $0,5h$  (для облегченных флоров соответственно не менее  $0,25h$ ).

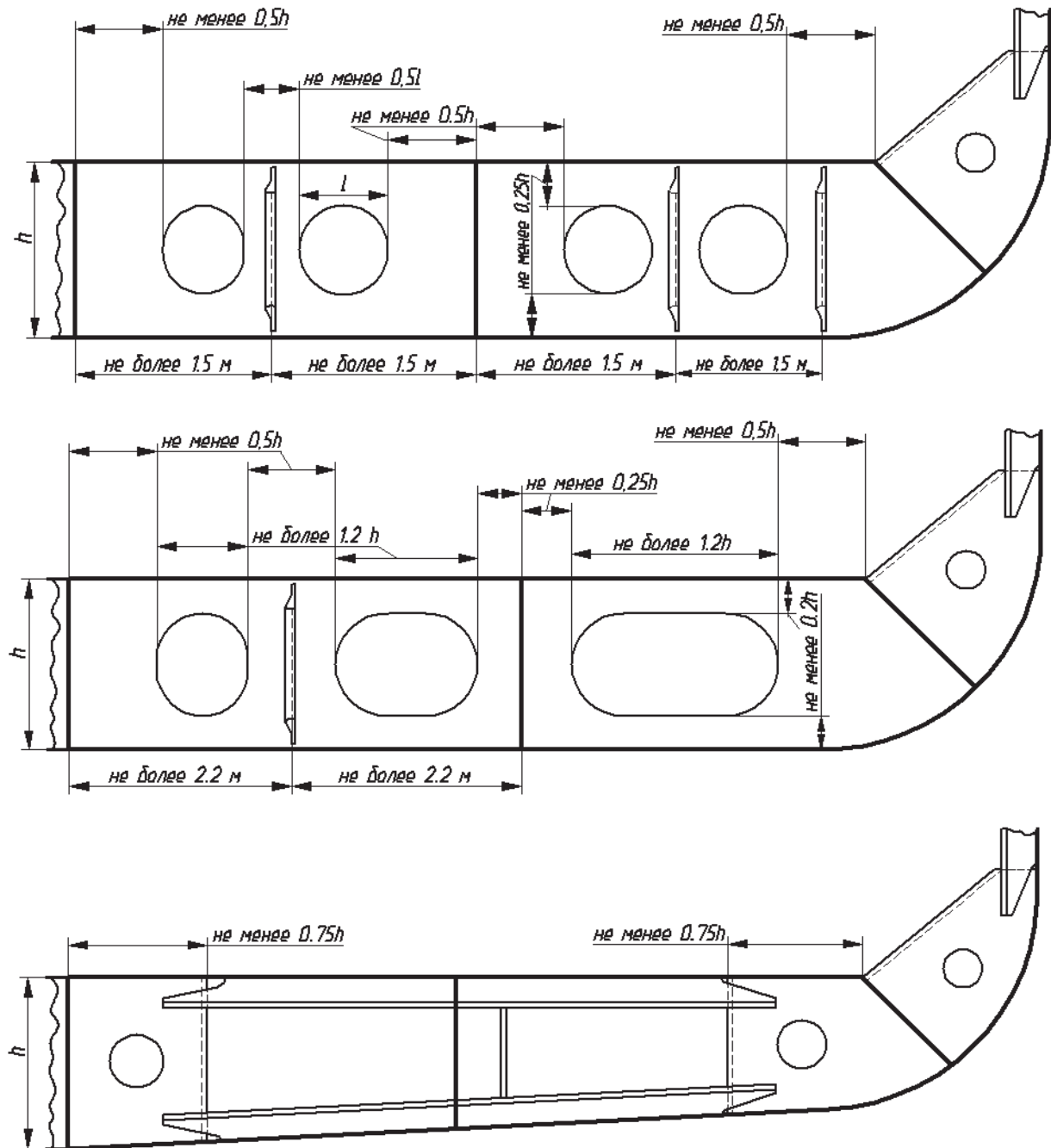


Рис. 2.4. Конструкция флоров: а– сплошной;  
б – облегчённый; в – бракетный

Расстояние между вырезами должно быть не менее: половины длины большего из вырезов – для стрингеров и сплошных флоров;  $0,5h$  – для облегченных флоров (2.4.2.7).

Вырезы не допускаются:

- на участках, примыкающих к переборкам;
- под пиллерами;
- в районах окончания книц фундаментов главных механизмов.

В brackets допускаются вырезы диаметром не более  $1/3$  от меньшего размера brackets.

### **2.2.2. Конструкция двойного дна при продольной системе набора**

В этом случае набор днища состоит из неразрезного вертикального (или тоннельного) киля, днищевых стрингеров, сплошных флоров и продольных балок основного набора по обшивке днища и под настилом второго дна (рис. 2.5 и 2.6).

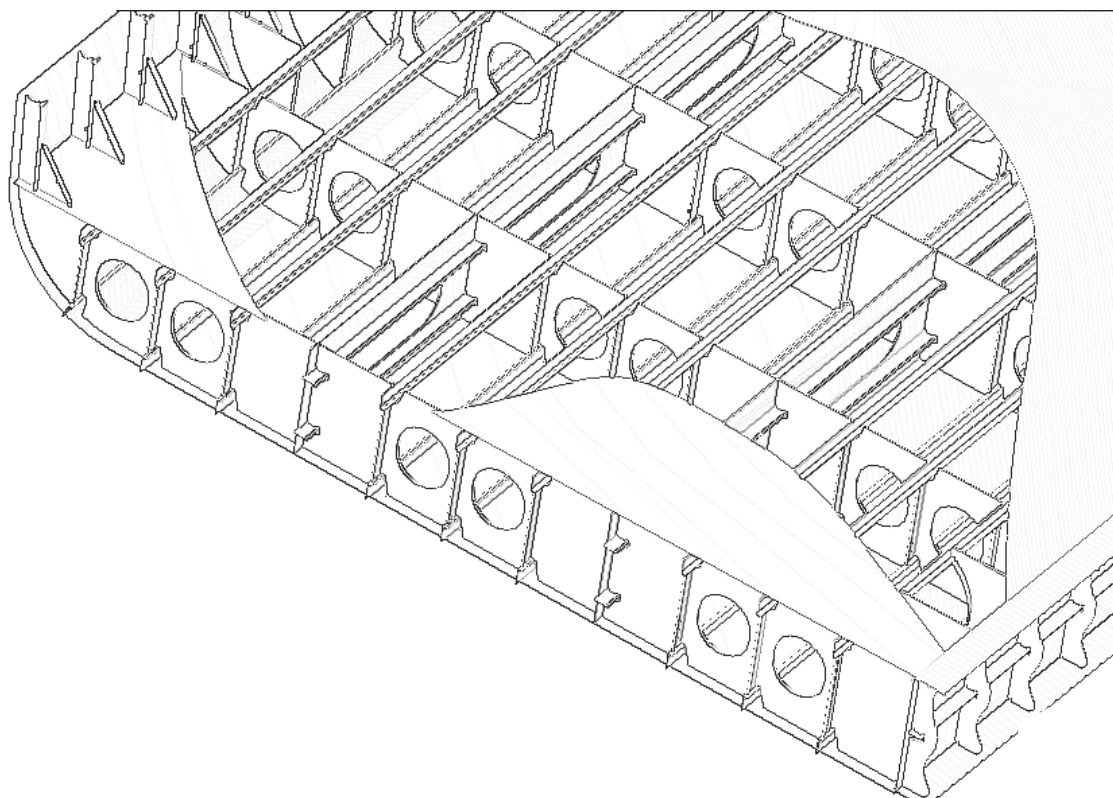


Рис. 2.5. Двойное дно с продольной системой набора

Расстояние между стрингерами не должно превышать 5 м (2.4.2.4).

Вместо продольных балок днища и второго дна могут быть применены облегченные стрингеры, отличающиеся от основных стрингеров вырезами больших размеров (рис. 2.7). Такая разновидность продольной системы набора, называемая стрингерной или русской, получила наиболее широкое распространение на судах для навалочных грузов.

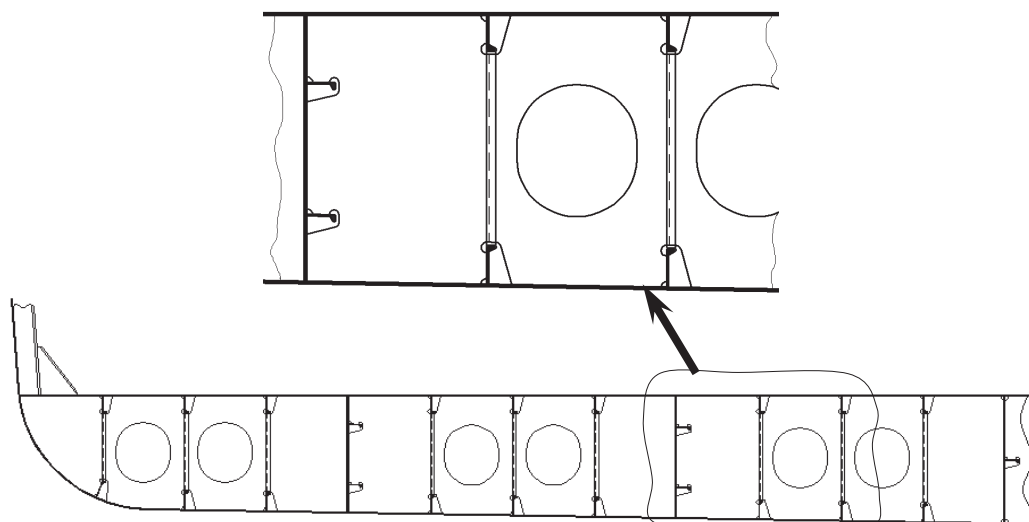


Рис. 2.6. Сплошной флор днища с продольной системой набора

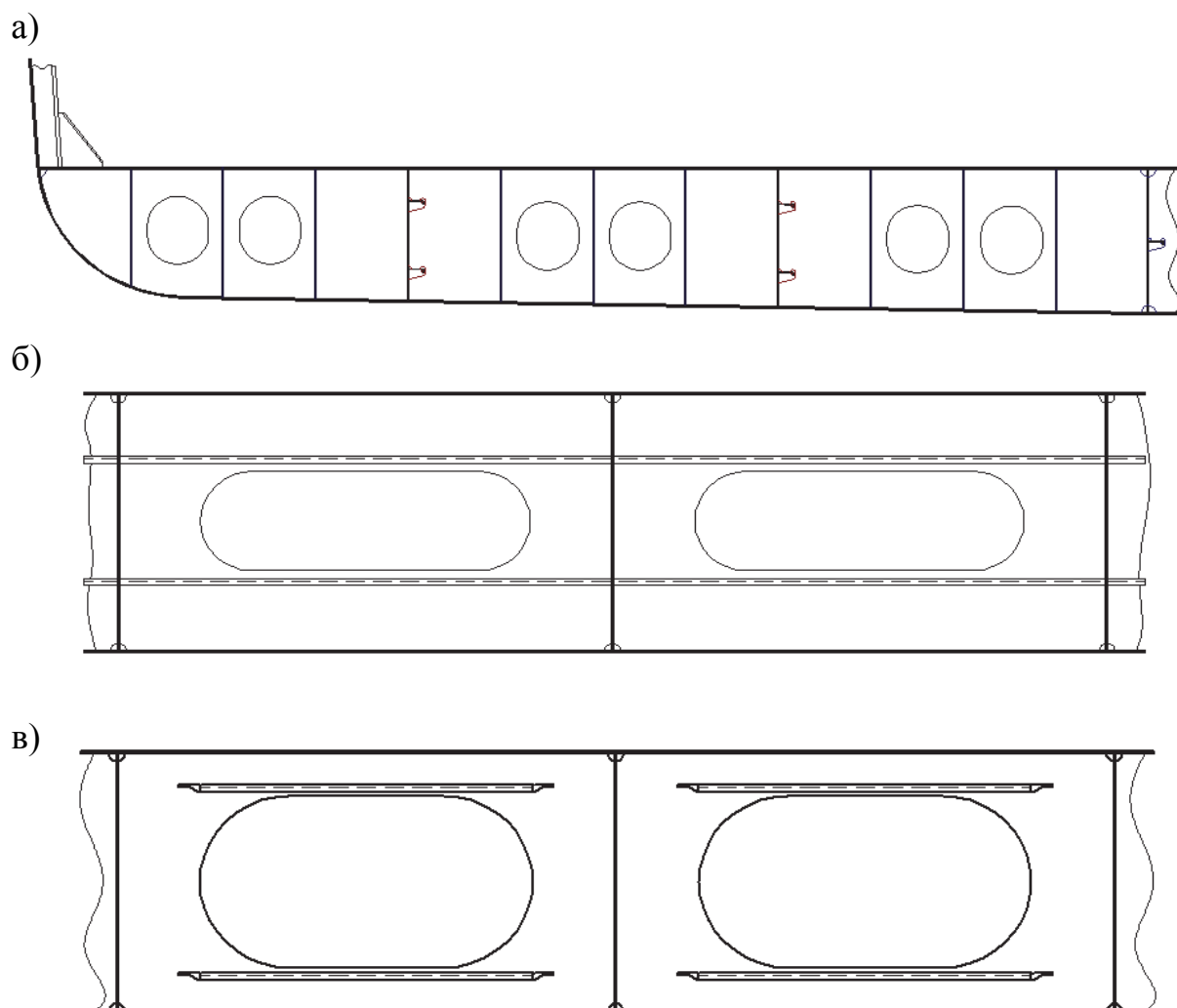


Рис. 2.7. Стрингерная система набора:  
 а – флор; б – стрингер; в – облегченный стрингер

Расстояние между сплошными флорами не должно превышать 5 шпаций или 3,6 м в зависимости от того, что меньше. При стрингерной системе набора это расстояние может быть увеличено, но не более чем в два раза. Обычно расстояние между сплошными флорами составляет 3...4 шпации (2.4.2.5).

Расстояние между сплошными флорами не должно превышать двух шпаций в районах с повышенными местными нагрузками:

- в носовой оконечности (на длине  $0,25L$ );
- в МО и КО;
- в трюмах, в которых перевозятся тяжеловесные грузы, руда;
- в трюмах навалочных судов, разгружаемых грейферами;
- на судах арктического плавания категорий Arc8 и Arc9.

Между сплошными флорами по сторонам вертикального или тоннельного киля ставятся brackets (называемые доковыми), доведенные до ближайших продольных балок днища и второго дна (рис. 2.8). Расстояние между этими brackets не должно превышать 1,2 м (обычно одна шпация поперечного набора).

При поперечной системе набора борта от основных шпангоутов между флорами устанавливаются скуловые brackets, подкрепляющие крайний междудонный лист и доведённые до ближайших продольных балок днища и второго дна и приваренные к ним (см. рис. 2.8). Обычно доковая и скуловая brackets располагаются в одной плоскости.

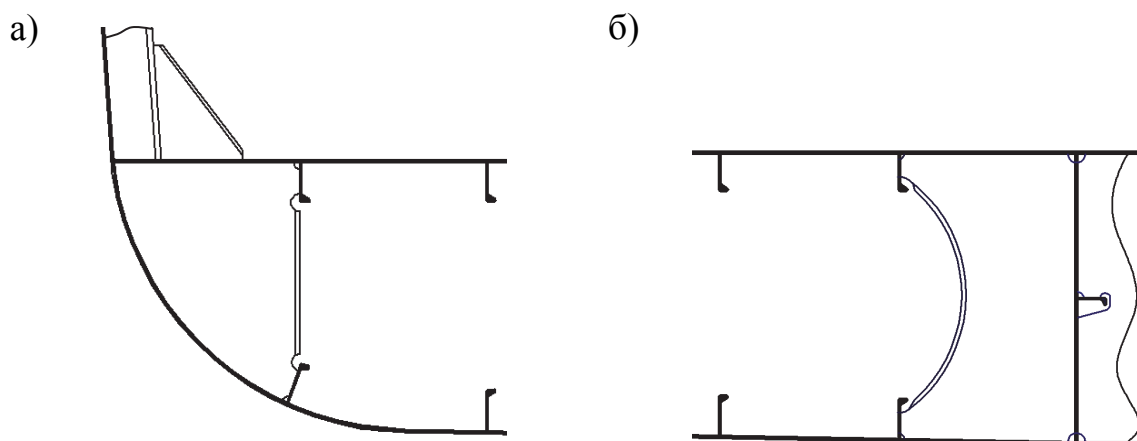


Рис. 2.8. Brackets между флорами: а – скуловая; б – доковая

Сплошные флоры либо brackets обязательны в местах действия сосредоточенных нагрузок (под пиллерсами, направляющими стойками контейнеров, фундаментами, концами книц поперечных переборок и т.п.).

По стенке флоров должны быть установлены вертикальные рёбра жёсткости, соединяющие продольные балки днища и второго дна.



Расстояние  $h_0$  от кромки выреза флора или стрингера до обшивки днища или настила второго дна должно быть не менее  $1/8$  от длины выреза, а также не менее:  $0,25h$  – для стрингеров и сплошных флоров;  $0,15h$  – для облегченных стрингеров (2.4.2.7). Если в облегченном стрингере  $h_0 > 25s\sqrt{\eta}$ , мм, то у кромки выреза должно быть подкрепление, обычно в виде горизонтального ребра жёсткости ( $\eta$  определяется по формуле (1.1)).

Длина выреза в облегченном стрингере должна быть не более  $1,2h$  и не более  $0,7$  от длины пластины. Расстояние между вырезами должно быть не менее: половины длины большего из вырезов – для стрингеров и сплошных флоров;  $0,5h$  – для облегченных стрингеров (2.4.2.7).

Вырезы не допускаются:

- на участках, примыкающих к переборкам;
- под пиллерами;
- в районах окончания книц фундаментов главных механизмов.

В brackets допускаются вырезы диаметром не более  $1/3$  от меньшего размера brackets.

### **2.2.3. Размеры сечений связей двойного дна**

Размеры связей днища должны быть определены с учётом расчётных давлений, определяемых в подразделе 1.5.

Различные связи двойного дна воспринимают различные сочетания нагрузок. Следует учитывать все возможные при эксплуатации судна случаи их нагружения. За расчётное давление принимается наибольшее из всех возможных.

За расчётную нагрузку на обшивку и рёбра жесткости днища обычно принимается нагрузка со стороны моря при пустых цистернах второго дна.

Расчетным давлением на настил и рёбра жесткости второго дна может быть давление от груза при пустых цистернах второго дна или давление в заполненных цистернах второго дна при пустом трюме.

Расчетной нагрузкой на непроницаемые стенки флоров, стрингеров и киля является давление в заполненных цистернах второго дна.

Толщина обшивки днища в средней части определяется по формуле (1.16) при  $m = 15,8$ ;  $k_{\sigma} = 0,634 - 0,00283L$  – при поперечной системе набора днища;  $k_{\sigma} = 0,6$  – при продольной системе набора.

Толщина обшивки должна быть не менее (2.2.4.8)

$$s_{\min} = (5,5 + 0,04L)\sqrt{\eta},$$

где коэффициент  $\eta$  определяется по формуле (1.1).

Требования к размерам горизонтального киля и скулового пояса такие же, как при одинарном днище (см. подраздел 2.1).

Толщина настила второго дна, включая крайний междудонный лист, определяется по формуле (1.16) при  $m = 15,8$ ;  $k_{\sigma} = 0,8$  (2.4.4.4-). Кроме того, эта толщина должна быть не менее 5,5 мм, а также не менее:

$$- \text{ при } L < 80 \text{ м } s_{\min} = (3,8 + 0,05L)\sqrt{\eta};$$

$$- \text{ при } L \geq 80 \text{ м } s_{\min} = (5 + 0,035L)\sqrt{\eta}.$$

В последней формуле при  $L > 260$  м следует подставлять  $L = 260$  м.

В МО, а также в трюмах при отсутствии деревянного настила минимальная толщина должна быть увеличена на 2 мм, а если грузовые операции выполняются грейферами – на 4 мм.

Толщина сплошных флоров определяется по правилу (2.4.4.3)

$$s \geq \lambda \alpha k_1 k_2 \sqrt{\eta} + \Delta s,$$

где  $\lambda = 0,12L - 1,1$ , но не более 6,5 при поперечной системе набора;  $\lambda = 0,023L + 5,8$  при продольной системе набора;  $\alpha$  – расстояние между рёбрами жёсткости, м, но не более высоты двойного дна;  $k_1$  и  $k_2$  – коэффициенты, определяемые по табл. 2.1 и 2.2;  $\eta$  – определяется по формуле (1.1);  $\Delta s$  – определяется по формуле (1.17).

Таблица 2.1

Определение коэффициента  $k_1$

Система набора	Расстояние между сплошными флорами в шпациях				
	1	2	3	4	5
поперечная	1	1,15	1,20	1,25	1,30
продольная	-	1,25	1,45	1,65	1,85

Таблица 2.2

Определение коэффициента  $k_2$

Система набора	Число стрингеров на один борт			
	0	1	2	3 и более
поперечная	1	0,97	0,93	0,88
продольная	1	0,93	0,86	0,80

Толщина флоров в носовой части, в МО, а также в трюмах судов, разгружаемых грейферами, должна быть не менее:

$$- \text{ при поперечной системе набора } s_{\min} = 0,035L + 5;$$

$$- \text{ при продольной системе набора } s_{\min} = 0,035L + 6.$$

Толщина вертикального кия определяется из условия (2.4.4.2)

$$s \geq \lambda h \frac{h}{h_{\text{факт}}} \sqrt{\eta} + \Delta s,$$

где  $\lambda = 0,03L + 8,3$ , но не более 11,2;  $h$  и  $h_{\text{факт}}$  – высота второго дна, соответственно требуемая по формуле (2.1) и фактически принятая;  $\eta$  определяется по формуле (1.1);  $\Delta s$  определяется по формуле (1.17). Кроме того, вертикальный киль должен быть толще флоров как минимум на 1 мм. Толщину стенок тоннельного кия можно уменьшить, но не более чем на 10 %.

Толщина непроницаемых стенок кия, стрингеров и флоров должна быть не менее определённой по формуле (1.16). При этом: расчётное давление  $p$  определяется по последним двум формулам (1.14) на уровне середины высоты стенки;  $m = 15,8$ ;  $k_{\sigma} = 0,85$  – для непроницаемых флоров;  $k_{\sigma} = 0,75$  – для вертикального кия и стрингеров (2.4.4.2-). Кроме того, толщина непроницаемых флоров должна быть не менее толщины сплошных. Толщина непроницаемых стенок кия и стрингеров может быть не более толщины примыкающих к ним листов наружной обшивки.

Толщина стрингеров и бракет должна быть не менее толщины флоров. Толщина всех элементов внутри двойного дна должна быть не менее (2.4.4.9):

$$- \text{при } L < 80 \text{ м } s_{\text{min}} = 3,9 + 0,045L;$$

$$- \text{при } L \geq 80 \text{ м } s_{\text{min}} = 5,5 + 0,025L.$$

В последней формуле при  $L > 250$  м следует подставлять  $L = 250$  м.

Минимальную толщину вертикального кия следует увеличить на 1,5 мм.

На наливных судах толщина всех элементов, контактирующих с жидким грузом или балластом, должна быть не менее (3.5.4):

$$\left. \begin{aligned} - \text{при } L < 80 \text{ м } s_{\text{min}} &= (5,5 + 0,035L); \\ - \text{при } L \geq 80 \text{ м } s_{\text{min}} &= (6,7 + 0,02L). \end{aligned} \right\} (2.2)$$

В последней формуле при  $L > 290$  м следует подставлять  $L = 290$  м. Толщину балок основного набора можно принимать не более 11,5 мм.

Сечение балок основного набора (продольных балок днища и второго дна при продольной системе набора, верхних и нижних балок бракетных флоров при поперечной системе набора) подбирается по условию (1.20) и формуле (1.18). Этому же условию должны удовлетворять нижние и верхние части облегченных флоров и стрингеров в районе больших вырезов.

При этом:  $m = 12$ ;  $k_{\sigma} = 0,5$  – для продольных балок днища;  $k_{\sigma} = 0,65$  – для продольных балок второго дна и для нижних балок бракетных флоров;  $k_{\sigma} = 0,75$  – для верхних балок бракетных флоров (2.4.4.5-). Пролёт  $l$  балок бракетного флора измеряется между концами бракет. Пролёт  $l$  участка облегченного флора или стрингера под вырезами принимается равным длине выреза за вычетом радиуса его закругления.

Момент сопротивления продольных балок можно уменьшить на 35 %, если подкрепить их стойками посередине пролёта (рис. 2.9). Эти стойки должны иметь площадь поперечного сечения,  $\text{см}^2$ , не менее

$$f = \frac{5pal}{k_{\sigma}\sigma_n} + 0,1h\Delta s,$$

где  $p$  – давление, кПа, со стороны моря или от груза (в зависимости от того, что больше);  $l$  – пролёт подкрепляемых балок (без учёта стойки), м;  $k_{\sigma} = 0,6$ ;  $h$  – высота поперечного сечения стойки, см;  $\Delta s$  определяется по формуле (1.17).

Момент инерции сечения стойки,  $\text{см}^4$ , должен быть не менее

$$i = 0,01fl_c^2\sigma_n,$$

где  $l_c$  – длина стойки, м (2.4.4.7).

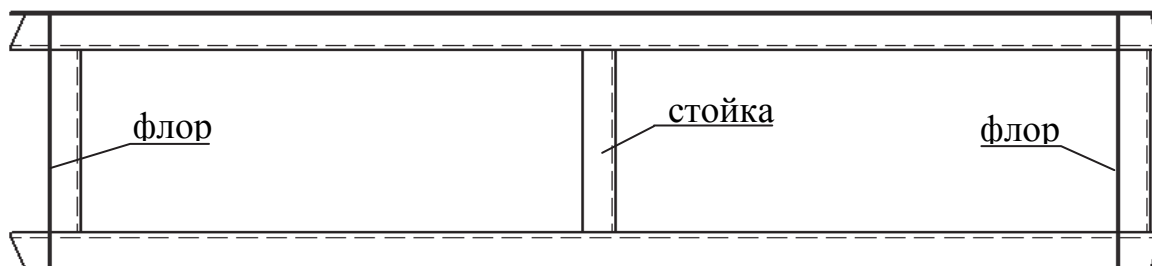


Рис. 2.9. Подкрепление продольных балок стойкой

Рёбра жёсткости по непроницаемым стенкам двойного дна подбираются по формулам (1.20) и (1.18). При этом давление  $p$  определяется по последней формуле (1.14);  $k_{\sigma} = 0,55$  для горизонтальных рёбер;  $k_{\sigma} = 0,75$  для вертикальных рёбер;  $m = 12$  для горизонтальных рёбер;  $m = 10$  для вертикальных рёбер, концы которых приварены к балкам основного набора;  $m = 8$  для вертикальных рёбер, концы которых срезаны «на ус» (2.4.4.6-).

### 3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ БОРТА

Конструкция бортов судна существенно зависит от назначения судна и условий его эксплуатации. У сухогрузных судов характерно разделение борта по высоте нижними палубами на ряд перекрытий. Высота перекрытий определяется высотой трюма и твиндеков (табл. 3.1). Контейнеровозы, лихтеровозы, суда для массовых грузов (танкеры, навалочники, лесовозы) не имеют твиндеков. Суда открытого типа, накатные, а также танкеры часто имеют двойные борта.

МАРПОЛ 73/78 для большинства нефтяных танкеров требует наличия междубортных танков изолированного балласта, требования к которым приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.1

Высота трюмов и твиндеков сухогрузных судов, м

Тип судна	Трюм	Твиндеки
Универсальное	3,2...6,0	3,0...4,5
Накатное	3,5...6,0	3,5...6,0
Рефрижераторное	2,8...3,5	2,3...2,8

Суда, эксплуатирующиеся в морях с замерзающими районами и в арктических широтах, а также ледоколы, промысловые, буксирные и спасательные суда должны выдерживать довольно опасные и трудно прогнозируемые ударные нагрузки на борта (ото льда, от швартовок и т.п.). Поэтому конструкция и размеры связей борта таких судов определяются именно этими нагрузками. Для их расчётов в Правилах Регистра предусмотрено большое количество специальных требований и довольно громоздких формул. В подразделе 3.5 в упрощённом виде рассмотрено проектирование конструкций борта судов ледового плавания.

Таблица 3.2

Требования к двойным бортам танкеров

Дедвейт $DW$ , т	Двойной борт	Требования
Менее 5000 т	Нет	Вместимость каждого грузового танка не должна превышать $700 \text{ м}^3$
	Есть	Ширина двойного борта $b \geq 0,4 + 2,4 \cdot DW/20\ 000$ , м, и не менее 0,76 м
5000 т и более	Обязателен	Минимальная ширина двойного борта $b = 2,0$ м или $b = 0,5 + DW/20\ 000$ , м, (в зависимости от того, что меньше), но не менее 1,0 м

### 3.1. Конструкции одинарного борта

Подробно конструкции бортов рассмотрены в учебниках [4; 11]. Отметим здесь лишь некоторые особенности выбора конструкций.

Простейшая система набора – однородная поперечная, состоящая из одинаковых шпангоутов. Она наиболее применима для лесовозов, универсальных сухогрузов (особенно в твиндеках), навалочников. Однако если пролёт шпангоутов большой, необходимо устанавливать промежуточные опоры – бортовые стрингеры, тогда шпангоуты получают меньшего профиля и вес перекрытия уменьшается. Кроме того, стрингеры повышают жёсткость перекрытия. Поэтому пролёт шпангоутов в МО (где возможна существенная вибрация) не должен превышать 2,5 м (2.5.2.3).

Тем не менее стрингеры сухогрузов уменьшают полезное грузовое пространство, а также могут повреждаться от ударов при грузовых операциях. Поэтому борта лесовозов в трюмах делают только по однородной системе набора.

Стрингеры могут оказаться очень громоздкими при большом пролёте (равном длине отсека). В этом случае их подкрепляют одной или несколькими промежуточными опорами – рамными шпангоутами. Рамные шпангоуты должны стоять в одной плоскости со сплошными флорами. Такая неоднородная система набора характерна для бортов наливных судов, но нередко встречается также у сухогрузных судов. Обязательна установка рамных шпангоутов в МО – не реже чем через 5 шпаций или 3 м (в зависимости от того, что больше), и, кроме того, по торцам двигателя.

Продольная система набора борта встречается редко – только на крупнотоннажных судах. В этом случае набор состоит из продольных балок и рамных шпангоутов, стоящих в одной плоскости со сплошными флорами.

### 3.2. Конструкции двойного борта

В конструкциях двойных бортов достаточно ясно прослеживается аналогия с конструкциями двойного дна. Рамный набор составляют вертикальные диафрагмы и горизонтальные платформы (рамные шпангоуты и бортовые стрингеры – по аналогии со сплошными флорами и днищевыми стрингерами). Основной набор составляют:

- при поперечной системе набора – шпангоуты и стойки внутреннего борта (по аналогии с балками бракетных флоров);
- при продольной системе набора – горизонтальные балки наружного и внутреннего борта (по аналогии с продольными балками двойного дна).

Диафрагмы и платформы подкрепляются рёбрами жёсткости с учётом требований подраздела 1.8. При этом меньшая сторона образуемых

пластин не должна превышать  $100s\sqrt{\eta}$ , мм, где  $s$  – толщина диафрагмы (платформы) (2.5.2.2).

Ширина вырезов в диафрагмах и платформах не должна превышать 0,6 ширины двойного борта. Расстояние между вырезами должно быть не менее длины вырезов. Вырезы (кроме шпигатов) не допускаются в районах опор диафрагм и платформ (ближе, чем 3 шпации или 1,5 ширины двойного борта). Кромки вырезов в пределах четверти пролёта рамных связей от их опор должны быть подкреплены поясками или рёбрами жёсткости.

### 3.3. Конструкция борта и цистерн навалочных судов

К борту навалочного судна примыкают подпалубная и скуловая цистерны. Между ними обычно расположено одинарное перекрытие с однородным набором (шпангоутами) либо двойной борт. Подпалубная цистерна должна иметь продольную систему набора (рис. 3.1). Скуловая цистерна обычно также имеет продольную систему набора (рис. 3.2).

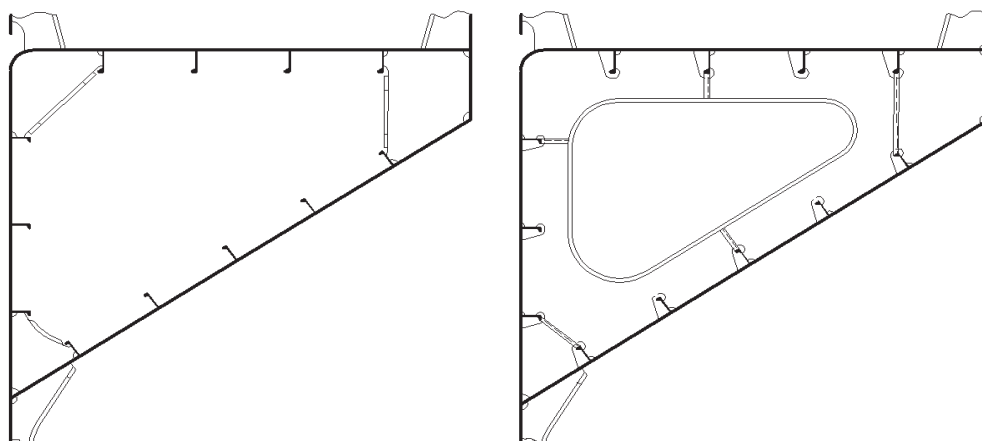


Рис. 3.1. Конструкция подпалубной цистерны

Угол наклона стенок подпалубных цистерн к ОП должен быть не менее  $30^\circ$ , скуловых – не менее  $45^\circ$ . Ширина скуловой цистерны должна быть не менее  $0,125B$  (3.3.2.4).

Набор цистерн при продольной системе набора состоит из основных продольных балок и поперечных рамных связей таврового профиля, расположенных в плоскости флоров. В скуловых цистернах, кроме того, в плоскости каждого второго флора должны стоять поперечные диафрагмы. Эти диафрагмы могут иметь вырезы (лазы), подкреплённые поясками или рёбрами жёсткости. Размеры этих вырезов должны быть такими, чтобы их кромка по всему периметру отстояла от центра выреза не дальше половины расстояния до обшивки цистерны. В плоскости шпангоутов по всем

углам цистерн ставятся brackets, доходящие до ближайших продольных балок (3.3.2.4-).

Шпангоуты, как правило, должны иметь симметричный профиль (3.3.2.5-). Кницы шпангоутов должны быть выполнены так, как приведено на рис. 3.3. При этом концы книц не должны перекрывать примыкающие к ним brackets.

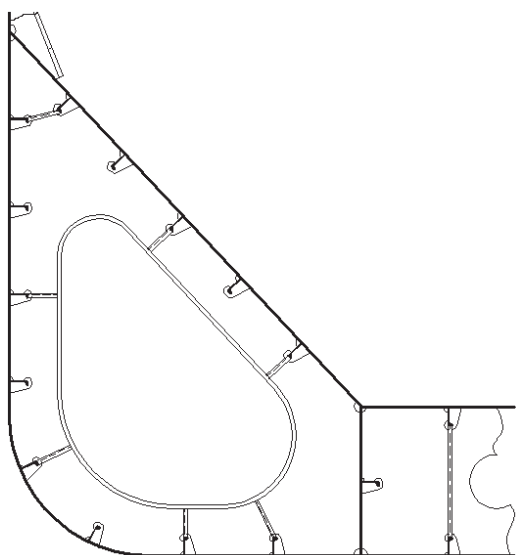


Рис. 3.2. Конструкция скуловой цистерны

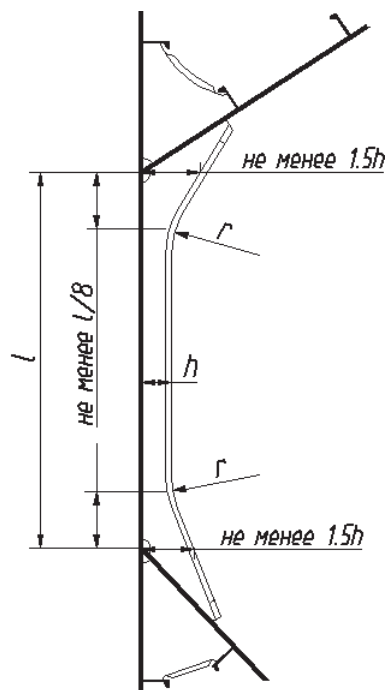


Рис. 3.3. Шпангоут навалочного судна

Радиус скругления, мм, должен быть не менее

$$r = 0,4b^2/s,$$

где  $b$  и  $s$  – соответственно ширина свободного пояса и толщина стенки кницы, мм.

### 3.4. Размеры связей

#### 3.4.1. Общие требования

За расчетные нагрузки на связи борта принимаются наибольшие из всех возможных нагрузок. Расчетным давлением на наружный борт обычно является внешнее давление воды, определяемое по формулам (1.2) и (1.3). При этом волновое давление  $p_w$  выше летней ГВЛ должно быть не менее  $p_{\min} = 0,03L + 5$ , кПа (при  $L > 250$  м принимается  $L = 250$  м).



На конструкции внутренних бортов, а также внутренние стенки подпалубных и скуловых цистерн расчётным давлением является давление от груза либо жидкости в цистернах в соответствии с пунктом 1.5.3.

Проницаемые диафрагмы двойных бортов рассчитываются на давление со стороны моря, а непроницаемые диафрагмы – на давление жидкости в цистернах.

Толщина обшивки борта в средней части определяется по формуле (1.16) при  $m = 15,8$ . Коэффициент  $k_{\sigma}$  приближённо можно определить по формуле

$$k_{\sigma} = k_{\sigma}^{\text{дн}} \left( 1 - 2 \frac{z}{D} \right) + 1,2 \frac{z}{D},$$

где  $k_{\sigma}^{\text{дн}}$  – коэффициент  $k_{\sigma}$  для обшивки днища,  $z$  – расстояние до расчётной точки обшивки от ОП или от ВП (в зависимости от того, что ближе).

Толщина обшивки должна быть не менее (2.2.4.8)

$$- \text{при } L < 30 \text{ м } s_{\min} = 3,1 + 0,12L;$$

$$- \text{при } L \geq 30 \text{ м } s_{\min} = (5,5 + 0,04L) \sqrt{\eta},$$

где коэффициент  $\eta$  определяется по формуле (1.1). При  $L > 300$  м следует подставлять в формулу  $L = 300$  м.

Толщина скулового пояса принимается равной толщине днища или борта в зависимости от того, что больше.

Ширина ширстрека должна быть не менее  $0,8 + 0,005L$ , но не более 2 м (2.2.4.5). Толщина ширстрека должна быть не менее толщин прилегающих листов борта и палубного стрингера.

Балки набора бортовых перекрытий подбираются в соответствии с указаниями подраздела 1.7. При этом величины в формулах (1.18) и (1.19) определяются по табл. 3.3 (2.5.4-).

Расчётное давление на трюмные шпангоуты не должно приниматься менее (2.5.4.1):

$$- \text{при } L < 60 \text{ м } p_{\min} = 10z + 0,3L + 1;$$

$$- \text{при } L \geq 60 \text{ м } p_{\min} = 10z + 0,15L + 10,$$

где  $z$  – отстояние середины пролёта шпангоута от летней ГВЛ, м.

Моменты сопротивления балок основного набора двойного борта можно уменьшить на 35 %, если подкрепить их стойками посередине пролёта аналогично стойкам двойного дна (см. рис. 2.9). Размеры этих стоек подбираются так же, как и для стоек двойного дна.

В МО рамные шпангоуты должны иметь высоту стенки  $h \geq 0,1l$  и толщину стенки  $s \geq 0,01h + 3,5$  (мм). Высоты профиля и толщины поясков

рамного шпангоута и бортового стрингера в МО равны. Толщина стенки стрингера может быть на 1 мм меньше толщины стенки рамного шпангоута (2.5.4.7-).

Таблица 3.3

Определение параметров в формулах (1.18) и (1.19)  
для балок бортового набора

Наименование балок набора	Особенности конструкции, тип судна и др.	$m$	$n$	$k_{\sigma}$	$k_{\tau}$
Шпангоуты при поперечной системе набора	Одинарный борт в трюме	18	-	0,65	-
	То же у опор (включая кницы)	12	-	0,65	-
	Одинарный борт в твиндеках	10	-	0,65	-
	Двойной борт: наружный внутренний	12	-	0,65	-
		12	-	0,75	-
Продольные балки основного набора*	Наружнего борта	12	-	$0,5+0,3z/D$	-
	Внутреннего борта	12	-	$0,65+0,2z/D$	-
	Цистерн навалочников	12	-	$0,65+0,2z/D$	-
Бортовые стрингеры*	При отсутствии распорок	18	0,5	$0,5+0,3z/D$	0,65
	подкреплённые 1 распоркой	27,5	0,4	$0,5+0,3z/D$	0,65
	подкреплённые 2 распорками	27,5	0,375	$0,5+0,3z/D$	0,65
	подкреплённые 3 распорками	27,5	0,35	$0,5+0,3z/D$	0,65
	в МО	10	0,5	0,65	0,65
Рамные шпангоуты	В трюме без распорок	11	0,5	0,65	0,65
	подкреплённые 1 распоркой	18	0,375	0,65	0,65
	подкреплённые 2 распорками	18	0,35	0,65	0,65
	подкреплённые 3 распорками	27,5	0,35	0,65	0,65
	В твиндеках и подпалубных цистернах	10	0,5	0,65	0,65
Рамные балки наклонных стенок подпалубных цистерн навалочников		10	0,5	0,75	0,75

\*  $z$  – расстояние до балки от ОП или от ВП (в зависимости от того, что ближе)

Диафрагмы и платформы двойного борта подбираются аналогично рамным шпангоутам и бортовым стрингерам. Кроме того, их толщина должна быть не менее  $s_{\min} = 6,2 + 0,018L$ . Толщина непроницаемых участков диафрагм и платформ определяется по формуле (1.16) при  $m = 15,8$ ;  $k_{\sigma} = 0,9$ .

Ребра жёсткости по непроницаемым стенкам диафрагм и платформ подбираются по формулам (1.20) и (1.18). При этом давление  $p$  определя-

ется по формулам (1.14);  $k_{\sigma} = 0,75$ ;  $m = 12$  – для рёбер, параллельных обшивке борта;  $m = 10$  – для рёбер, перпендикулярных обшивке борта, концы которых приварены к балкам основного набора;  $m = 8$  – для рёбер, концы которых срезаны «на ус» (2.5.4.8).

Скуловые кницы при поперечной системе набора должны полностью перекрывать скулу и иметь фланец или поясок. Толщина скуловых книц равна толщине флоров. Их ширина выбирается из расчёта, чтобы момент сопротивления шпангоута с учётом кницы увеличился как минимум в два раза. Высота скуловых книц должна быть не менее их ширины. Скуловые и прочие кницы должны удовлетворять требованиям подраздела 1.9.

### **3.4.2. Дополнительные требования для бортов и цистерн навалочных судов**

Толщина обшивки наклонных стенок скуловой и подпалубной цистерн в средней части определяется по формуле (1.16) при  $m = 15,8$ ,  $k_{\sigma} = 0,9$ . Толщина нижнего листа скуловой цистерны должна быть не менее толщины настила второго дна. Толщина остальных листов должна быть не более толщины нижнего листа, но не менее  $s_{\min} = (7 + 0,035L)\sqrt{\eta}$  (при  $L > 260$  м следует подставлять в формулу  $L = 260$  м). Толщина вертикальной стенки подпалубной цистерны (под комингсом люка) и примыкающего листа наклонной стенки должна быть не менее  $s_{\min} = 10 + 0,025L$  (при  $L > 200$  м следует подставлять в формулу  $L = 200$  м).

При расчёте балок набора подпалубных цистерн расчётное давление не должно приниматься менее 25 кПа.

Толщина стенок диафрагм и поперечных рам скуловых цистерн должна быть не менее толщин примыкающих к ним сплошных флоров. Толщина бракет и книц в цистернах должна быть не менее 10 мм.

Толщина стенок шпангоутов одинарного борта должна быть не менее  $s_{\min} = 7 + 0,03L$  (при  $L > 200$  м следует принимать  $L = 200$  м).

### **3.4.3. Дополнительные требования для бортов танкеров**

На наливных судах толщина всех элементов, контактирующих с жидким грузом или балластом, должна быть не менее (3.5.4):

$$- \text{при } L < 80 \text{ м} \quad s_{\min} = (5,5 + 0,035L)\sqrt{\eta},$$

$$- \text{при } L \geq 80 \text{ м} \quad s_{\min} = (6,7 + 0,02L)\sqrt{\eta}.$$

В последней формуле при  $L > 290$  м следует подставлять  $L = 290$  м. Толщину балок основного набора можно принимать не более 11,5 мм.

Между бортом и продольной переборкой танкера часто ставятся распорки, упирающиеся в рамные связи борта и переборки (обычно в месте пересечения рамных шпангоутов с бортовыми стрингерами). Площадь сечения распорки  $f$  должна быть не менее

$$f = \frac{25 p a h}{\sigma_{кр}} + 0,05 P \Delta s,$$

где  $p$  – расчётное давление на уровне распорки, кПа;  $a$  – расстояние между распорками по длине, м;  $h$  – расстояние между распорками по высоте (высота части борта, поддерживаемой распоркой), м;  $P$  – периметр поперечного сечения распорки, см;  $\sigma_{кр}$  – критические напряжения, МПа, определяемые по формулам подраздела 7.5 при эйлеровых напряжениях, вычисляемых по формуле

$$\sigma_c = \frac{206i}{f l^2},$$

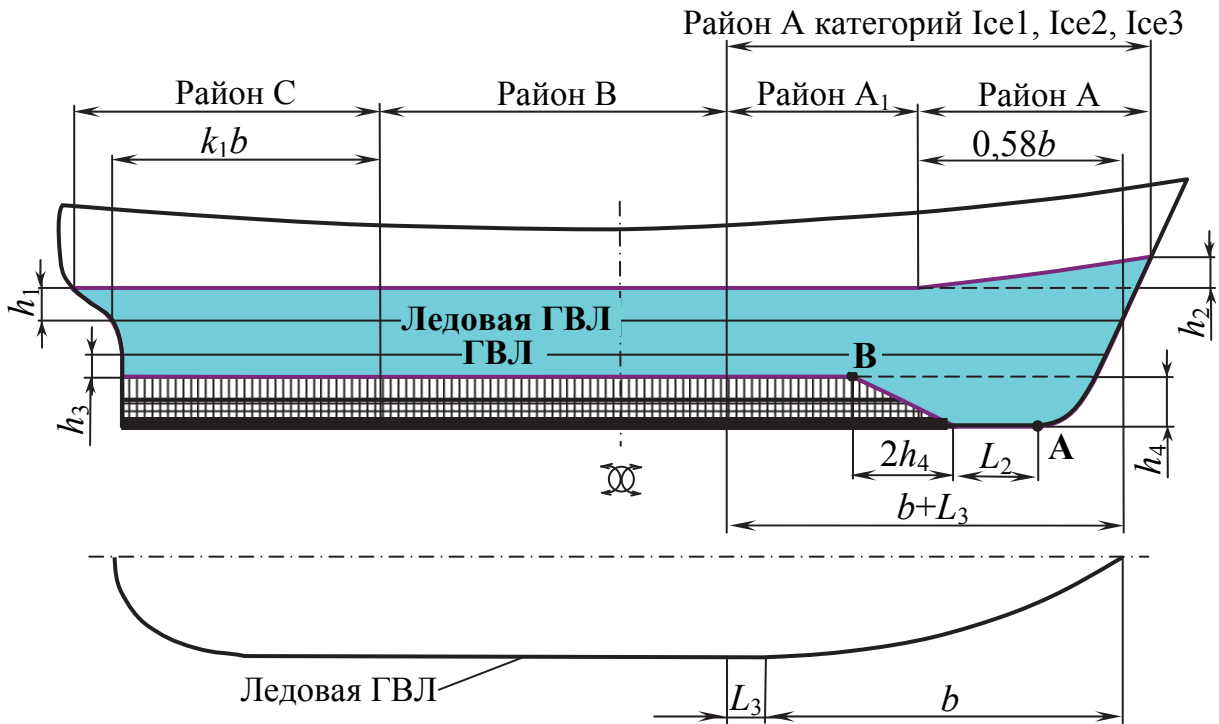
здесь  $i$  – минимальный момент инерции поперечного сечения распорки, см<sup>4</sup>;  $l$  – длина распорки, м. Так как площадь сечения  $f$  входит в обе последние формулы, её расчёт выполняется методом последовательных приближений.

### 3.5. Проектирование конструкций с ледовыми усилениями

В Правилах Регистра предусмотрено девять категорий ледового плавания судов (2.2.3) по мере возрастания ледовых нагрузок (приложение 5). Категории Ice1 – Ice3 относятся к судам для неарктических замерзающих морей. Для остальных (арктических) категорий Arc4 – Arc9 допускаемые районы эксплуатации в российских арктических морях определены в зависимости от сезона, тактики плавания (с ледоколом или самостоятельно) и тяжести навигации (2.2.3.4).

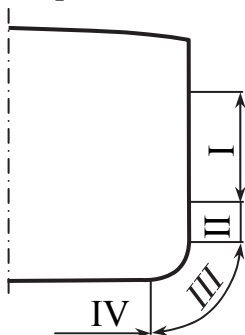
В первую очередь ледовая категория судна влияет на форму корпуса в оконечностях (наклон летней ГВЛ к ДП, наклон форштевня и шпангоутов на уровне летней ГВЛ и т.п. (3.10.1.2)). На судах арктических категорий: вертикальный борт в районе ледового пояса не допускается в нос от цилиндрической вставки; в носу не должно быть бульба; в корме не допускается транцевая форма кормы и необходим ледовый зуб (выступ для защиты руля на заднем ходу).

Расчётные нагрузки и требования к конструкциям борта установлены в зависимости от района по длине и высоте корпуса судна (рис. 3.4). В этом пособии рассмотрим только проектирование борта в средней части (в районе В). Размеры  $h_1$ ,  $h_3$  и  $L_3$ , обозначенные на рис. 3.4, приведены в табл. 3.4 (3.10.1.3-).

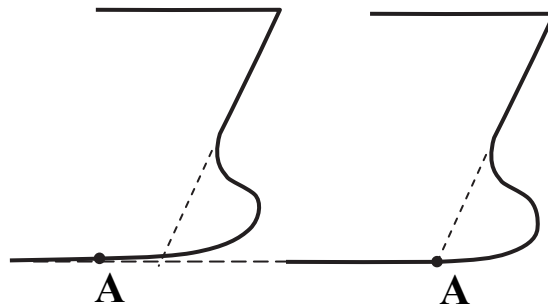


$b$  – расстояние от носового перпендикуляра до цилиндрической вставки, но не более  $0,4L$

Границы районов по периметру поперечного сечения



Положение точки А для бульбообразных обводов







-  I – ледовый пояс в районе переменных осадок
-  II – от нижней кромки района I до верхней кромки района III
-  III – скуловой пояс
-  IV – плоское днище

Рис. 3.4. Районы ледовых усиления [13]

Ледовые усиления выполняются: в районе VI (B – по длине, I – по высоте) – для судов категорий Ice2 и выше; в районе VII – для судов категорий Arc4 и выше; в районе VIII – для судов категорий Arc5 и выше; в районе IV – для судов категорий Arc8, Arc9 и ледоколов.

Таблица 3.4

Размеры, определяющие границы районов ледовых усилений

Параметр		Категория ледовых подкреплений				
		Arc7 – Arc9	Arc5, Arc6	Arc4	Ice3	Ice2
$h_1$ , м	при $B \leq 20$ м	0,75		0,60	0,50	
	при $B > 20$ м	$\frac{0,5B + 8}{24}$		$\frac{0,5B + 8}{30}$	$\frac{0,5B + 8}{36}$	0,50
$h_3$ , м		$1,6h_1$	$1,35h_1$	$1,20h_1$	$1,10h_1$	$h_1$
$L_3$ , м		$0,06L$	$0,05L$	$0,045L$	$0,04L$	$0,02L$

### 3.5.1. Конструктивные особенности ледовых усилений

В момент удара льда о корпус судна площадь контакта обычно вытянута вдоль судна. Чтобы удар воспринимался как можно большим числом балок, целесообразна поперечная система набора борта. Более того, желательно уменьшать пролёт пластин обшивки, т.е. шпацию. Для этого Регистром *рекомендуется установка промежуточных шпангоутов*. Они чередуются (через один) с основными шпангоутами, уменьшая тем самым шпацию набора в два раза. Профиль промежуточных шпангоутов такой же, как основных. Отличаться они могут только закреплением концов.

Даже при частом расположении шпангоутов они могут оказаться недостаточно прочными, если удар льдины будет сосредоточенным на малой площади. Такую нагрузку желательно разнести на возможно большее число балок. Для этого шпангоуты соединяются между собой дополнительными *разносящими бортовыми стрингерами*, которые имеют профиль, близкий к профилю шпангоутов. Разносящие стрингеры рекомендуется делать разрезными на шпангоутах (интеркостельными).

Система набора борта может быть двух основных видов (3.10.2.1):

- монотонной, состоящей из шпангоутов одинакового профиля и разносящих стрингеров;
- усиленной рамными шпангоутами и несущими бортовыми стрингерами (с высотой профиля как у рамных шпангоутов). При этом борт может быть одинарным либо двойным.

На судах категории Arc7 и выше рекомендуется установка двойного борта, а в МО он обязателен.

На судах категории Arc5 и выше шпангоуты должны крепиться к палубам и платформам кницами. Если шпангоут разрезан на промежуточных опорах (палубах, платформах, стрингерах), то кницы ставятся с обеих сторон. Если в плоскости шпангоута нет бимса, то кница должна идти от шпангоута до ближайшей продольной подпалубной балки.

На судах категории Arc4 и выше нижние концы промежуточных шпангоутов закрепляются на крайнем междудонном листе, подкреплённом снизу бракетой или ребрами, доходящими до продольных балок днища и второго дна (рис. 3.5).

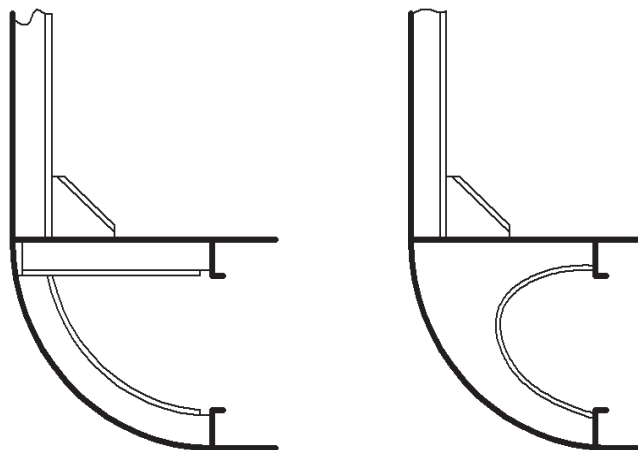


Рис. 3.5. Закрепление нижних концов промежуточных шпангоутов на судах категории Arc4

При поперечной системе набора днища бракетки или рёбра доводятся до специально поставленных для этого продольных, разрезных на флорах (интеркостельных) балок.

Верхние концы промежуточных шпангоутов на судах категории Arc4 и выше должны крепиться к палубе или платформе, расположенной выше верхней границы района I.

На судах категорий Ice1, Ice2 и Ice3 при монотонной системе набора нижние концы промежуточных шпангоутов можно не доводить до днища, а обрывать на 1 м ниже нижней границы района I, закрепляя на разносящем стрингере (рис. 3.6, а). Верхние концы можно не доводить до палубы, а обрывать на 0,5 м выше верхней границы района I, закрепляя на разносящем стрингере (рис. 3.6, б).

На судах категорий Ice1, Ice2 и Ice3 при системе набора с рамными шпангоутами нижние концы промежуточных шпангоутов также можно не доводить до днища, закрепляя на разносящем стрингере. Однако этот разносящий стрингер должен стоять на 1 м ниже несущего стрингера, который, в свою очередь, должен стоять ниже нижней границы района I.

На судах категорий Ice1, Ice2 и Ice3 при системе набора с рамными шпангоутами верхние концы промежуточных шпангоутов также можно не доводить до палубы, закрепляя на разносящем стрингере. Однако этот разносящий стрингер должен стоять на 0,5 м выше несущего стрингера, который, в свою очередь, должен стоять выше верхней границы района I.

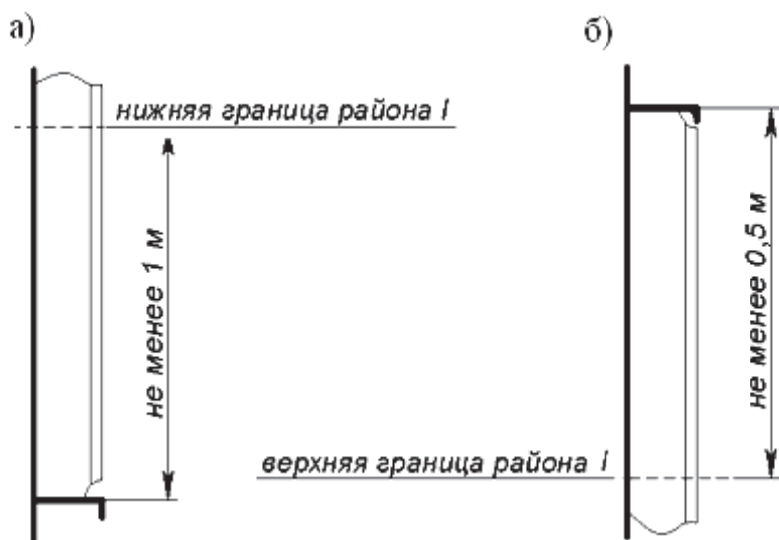


Рис. 3.6. Закрепление нижнего (а) и верхнего (б) концов промежуточного шпангоута на судах категорий Ice1, Ice2 и Ice3

Допускается применение и продольной системы набора борта. При этом на судах категории Arc4 и выше, если расстояние между рамными шпангоутами больше 2 м, необходимо ставить дополнительные (промежуточные) интеркостельные шпангоуты. Концы этих шпангоутов закрепляются так же, как и у промежуточных шпангоутов судов категорий Ice1, Ice2 и Ice3 при поперечной монотонной системе набора (3.10.2.3).

Стенки рамных балок и другие листовые конструкции, примыкающие к обшивке борта, на судах категории Arc4 и выше должны подкрепляться рёбрами жёсткости, перпендикулярными к обшивке. Расстояние между ними должно быть не более: 0,5 м – на судах категорий Arc5 и выше; 0,8 м – на судах категорий Arc4 (3.10.2.4-).

Эскиз конструкции		
		
Продольная система набора в районе I на судах категорий Arc5 и выше	Поперечная система набора: на судах категорий Arc5 и выше - в районах I и II; на судах категорий Arc4 - в районе I	Для всех остальных категорий судов и районов, требующих ледовых усилений

Рис. 3.7. Оформление узлов пересечения [13]



Расстояние от кромки вырезов в листах, примыкающих к борту, до обшивки борта должно быть не менее 0,5 м.

Узлы пересечения стенок рамных балок и других листовых конструкций с основным набором должны выполняться в соответствии с рис. 3.7 (подкрепляющие ребра и кницы на рисунке условно не показаны).

### 3.5.2. Ледовая нагрузка

Условная ледовая нагрузка определяется в Правилах тремя параметрами: давлением  $p$ , длиной  $l^H$  и высотой  $b$  её распределения (3.10.3.1).

В районе VI расчётное ледовое давление определяется по формуле (3.10.3.2.3)

$$p_{VI} = 1500a_3 \sqrt[6]{\Delta/1000},$$

где  $a_3$  – коэффициент, определяемый по табл. 3.5;  $\Delta$  – водоизмещение по летнюю ГВЛ, т.

В районах VII, VIII и BIV расчётное давление определяется по формулам

$$p_{VII} = a_{VII} p_{VI}; \quad p_{VIII} = a_{VIII} p_{VI}; \quad p_{BIV} = a_{BIV} p_{VI},$$

где коэффициенты  $a_{VII}$ ,  $a_{VIII}$  и  $a_{BIV}$  определяются по табл. 3.5.

Высота распределения ледовой нагрузки, м,

$$b_B = C_3 k_{\Delta},$$

где  $C_3$  – коэффициент, определяемый по табл. 3.5;  $k_{\Delta} = \sqrt[3]{\Delta/1000}$ , но не более 3,5.

Длина распределения ледовой нагрузки, м,

$$l_B^H = 6b_B, \quad \text{но не менее } 3\sqrt{k_{\Delta}}.$$

Таблица 3.5

Коэффициенты ледовой нагрузки

Коэффици- циент	Категория ледовых усилений							
	Ice2	Ice3	Arc4	Arc5	Arc6	Arc7	Arc8	Arc9
$a_3$	0,22	0,33	0,50	0,78	1,2	1,84	3,7	5,6
$a_{VII}$	-	-	0,4	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55
$a_{VIII}$	-	-	-	0,4	0,45	0,45	0,45	0,45
$a_{BIV}$	-	-	-	-	-	-	0,25	0,3
$C_3$	0,27	0,3	0,34	0,4	0,47	0,5	0,5	0,5

### 3.5.3. Размеры конструкций ледовых усилений

Толщина обшивки, мм, борта в районе усилений (3.10.4.1-) должна быть не менее

$$s = 0,75Tu + \frac{15,8a}{1 + 0,5a/c} \cdot \sqrt{\frac{p}{R_{eH}}},$$

где  $T$  – планируемый срок службы (если он не установлен, то следует принимать  $T = 24$  г);  $u$  – средний износ связи за год, мм/г (он равен: для судов категорий от Arc6 до Arc9 – 0,3; Arc5 – 0,28; Arc4 – 0,26; Ice3 и менее – по табл. 1.4);  $a$  – шпация набора (с учётом промежуточных балок), м;  $c$  равно: при поперечной системе набора – высоте распределения ледовой нагрузки  $b$  или расстоянию между продольными связями (в зависимости от того, что меньше); при продольной системе набора – расстоянию между поперечными балками;  $p$  – ледовое давление в данном районе, кПа.

Проектирование балок набора ледовых усилений основано на применении критерия предельной прочности, согласно которому фактические величины предельного момента сопротивления  $W_\phi$  и площади стенки  $A_\phi$  балки должны быть не меньше требуемых Правилами Регистра.

Фактический предельный момент сопротивления профиля, см<sup>3</sup>, можно вычислить по формуле

$$W_\phi = h(f - f_{ст}/2),$$

где  $h$  – высота профиля, см;  $f$  – площадь профиля, см<sup>2</sup>;  $f_{ст}$  – площадь стенки, см<sup>2</sup>.

Предельный момент сопротивления *обыкновенного шпангоута*, см<sup>3</sup>, (3.10.4.3-) должен быть не менее

$$W = \frac{288 p b a l}{R_{eH} (F + 0,11j)} \cdot \left(1 - 0,5 \frac{b}{l}\right),$$

где  $p$  – ледовое давление в данном районе, кПа;  $b$  – высота распределения ледовой нагрузки (если  $b > l$  то принимается  $b = l$ ), м;  $a$  – расстояние между шпангоутами, м;  $l$  – пролёт шпангоута, м. Параметр  $F$  определяется следующим образом: при системе набора с рамными шпангоутами  $F = 1$ ; при монотонной системе набора  $F = 1$ , если оба конца промежуточного шпангоута имеют опоры, и  $F = 0,5$ , если один или оба конца промежуточного шпангоута свободны (закреплены на разносящих интеркостельных стрингерах);  $j$  – число закреплённых опорных сечений в пролётах двух смежных шпангоутов,  $j \leq 4$ . Условия закрепления опор балок можно определить из рис. 3.8 (стрелками показаны опорные сечения, от которых измеряется пролёт балки).

Площадь стенки обыкновенного шпангоута, см<sup>2</sup>, должна быть не менее

$$f_{ст} = \frac{35pab}{R_{eH}} \cdot \frac{k_3 k_4}{4 - k_1} + 0,1h \cdot \Delta s,$$

где  $k_1$  – число свободных концов в пролётах двух смежных шпангоутов ( $k_1 \leq 2$ );  $k_3 = 0,7$  или  $k_3 = 1 / \left(1 + z + \sqrt{2z} \cdot (b/l)^{2,5}\right)$  в зависимости от того, что больше (здесь  $z = \frac{b}{(2l)} \cdot (a/l)^2$ ; если  $b > l$ , то принимается  $b = l$ );  $k_4 = 1$ ,

если в пролёте шпангоута нет разносящих стрингеров,  $k_4 = 0,9$ , если разносящий стрингер есть,  $k_4 = 0,8$ , если полка разносящего стрингера непрерывна;  $h$  – высота стенки шпангоута, см;  $\Delta s$  – запас толщины на коррозию, вычисляемый по формуле (1.17).

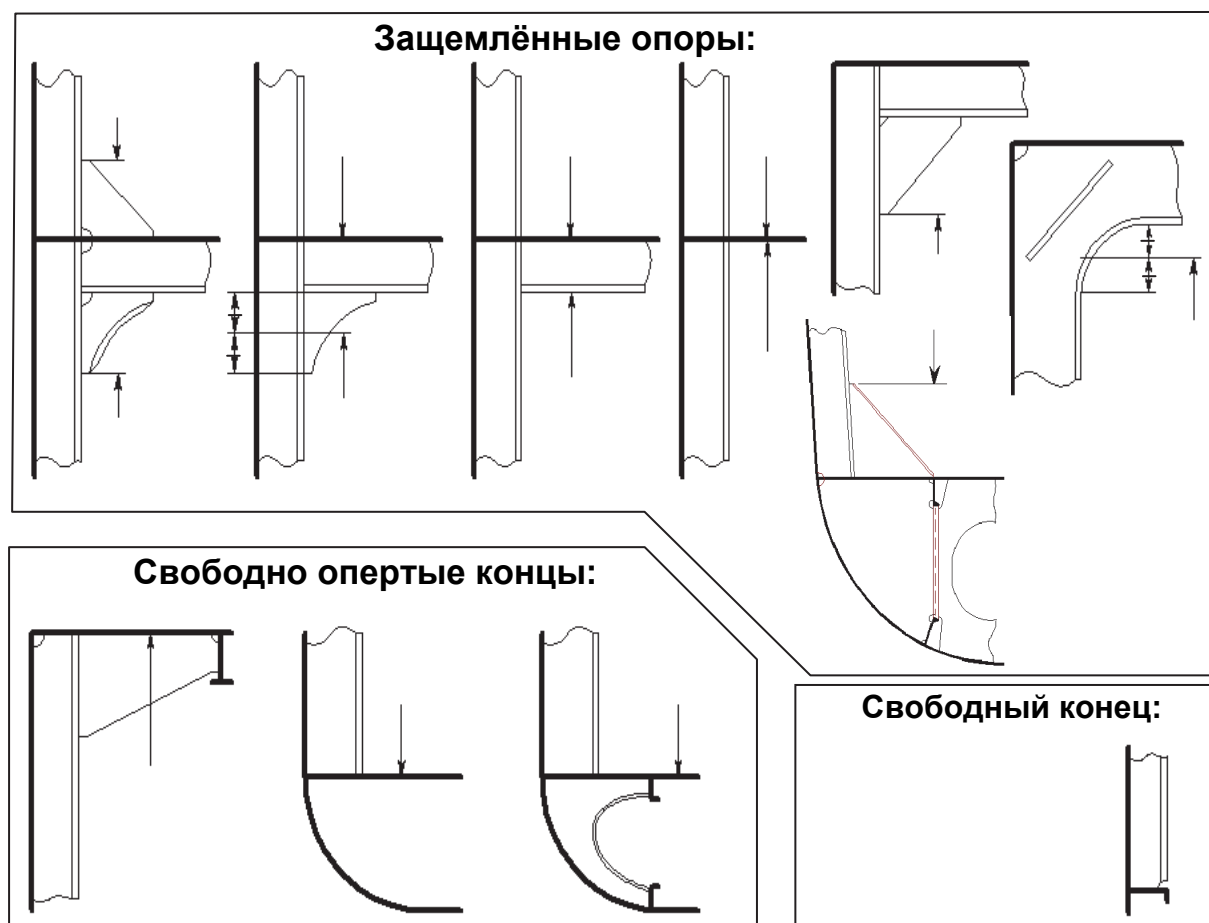


Рис. 3.8. Типичные схемы закреплений

Требования к толщине стенки  $s_{ст}$ , мм, обыкновенного шпангоута

$$s_{ст} \geq \frac{1,4pa}{R_{eH}} + \Delta s, \quad s_{ст} \geq 0,0114h\sqrt{R_{eH}} + \Delta s.$$

Предельный момент сопротивления **несущего бортового стрингера**,  $см^3$ , (3.10.4.4-) должен быть не менее

$$W = \frac{101pba_1l^H}{R_{eH}} \cdot \left( c_6 + c_2 \frac{b}{l} \right),$$

где  $a_1$  – расстояние между рамными шпангоутами, м;  $l^H$  – длина распределения ледовой нагрузки (если  $l^H > a_1$ , то принимается  $l^H = a_1$ );  $c_2 = 0,132$  и  $c_6 = 0,32$  – при одном несущем стрингере в перекрытии,  $c_2 = 0,11$  и  $c_6 = 0,358$  – при двух и более несущих стрингерах.

Площадь стенки несущего стрингера,  $см^2$ , должна быть не менее

$$f_{ст} = \frac{8,7pabl^H n}{a_1 R_{eH}} \cdot \left( c_6 + c_2 \frac{b}{l} \right) + 0,1 \cdot h \cdot \Delta s,$$

где  $n$  – число шпангоутов между соседними рамными шпангоутами.

Толщина стенки несущего стрингера  $s_{ст}$ , мм, должна быть не менее

$$s_{ст} = 2,63c_1 \sqrt{\frac{R_{eH}}{5,34 + 4(c_1/c_2)^2}} + \Delta s,$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – соответственно короткая и длинная стороны панелей, на которые стенка стрингера разделяется подкрепляющими её рёбрами жёсткости, м.

Ширина полки несущего стрингера  $b_{п}$ , мм, должна быть

$$b_{п} \geq 0,0165R_{eH} \sqrt{s_{п}s_{ст}} \left( \frac{h}{s_{ст}} - 2,6 \right), \quad b_{п} \geq 7,5s_{п},$$

где  $s_{п}$  – толщина полки, мм.

Разносящие бортовые стрингеры обычно имеют такой же профиль, как и обыкновенные шпангоуты. Во всяком случае, высота их стенки должна быть не менее 80 % от высоты стенки обыкновенных шпангоутов, а толщина стенки – не менее требуемой толщины для шпангоутов.

*Рамные шпангоуты при поперечной системе набора борта (3.10.4.5-)* должны иметь предельный момент сопротивления,  $см^3$ , не менее

$$W = \frac{101pabll^H}{a_1 R_{eH}} \cdot \left( 1 - 0,5 \frac{b}{l} + k_m n \left( c_6 + c_2 \frac{b}{l} \right) \right),$$

где  $k_m$  – коэффициент,  $k_m = 1$  – при одном несущем стрингере в перекрытии,  $k_m = 1,33$  – при двух несущих стрингерах (если несущих стрингеров в

перекрытия больше двух, то используйте непосредственно Правила Регистра.) Если  $l^H > 2a_1$  то принимается  $l^H = 2a_1$ .

Площадь стенки рамного шпангоута,  $\text{см}^2$ , должна быть не менее

$$f_{\text{ст}} = \frac{4,35 p a b l^H}{a_1 R_{eH}} \cdot \left( 1 + m n \left( c_6 + c_2 \frac{b}{l} \right) \right) + 0,1 h \cdot \Delta s,$$

где  $m$  – число несущих бортовых стрингеров в перекрытии.

Толщина стенки рамного шпангоута  $s_{\text{ст}}$ , мм, должна быть

$$s_{\text{ст}} \geq 2,63 c_1 \sqrt{\frac{R_{eH}}{5,34 + 4(c_1/c_2)^2}} + \Delta s, \quad s_{\text{ст}} \geq \frac{2 p a}{R_{eH}} + \Delta s,$$

где  $c_1$  и  $c_2$  – соответственно короткая и длинная стороны панелей, на которые стенка рамного шпангоута разделяется подкрепляющими её рёбрами жёсткости, м.

Ширина полки рамного шпангоута  $b_{\text{п}}$ , мм, должна быть

$$b_{\text{п}} \geq A_1 R_{eH} \sqrt{s_{\text{п}} s_{\text{ст}}} \left( \frac{h}{s_{\text{ст}}} - A_2 \right), \quad b_{\text{п}} \geq A_3 s_{\text{п}},$$

где  $s_{\text{п}}$  – толщина полки, мм;  $A_1 = 0,0182$ ;  $A_2 = 2,6$ ;  $A_3 = 10$ , если рёбра жёсткости, подкрепляющие стенку рамного шпангоута, отсутствуют или установлены вдоль стенки;  $A_1 = 0,0039$ ;  $A_2 = 1,4$ ;  $A_3 = 5$ , если рёбра жёсткости, подкрепляющие стенку рамного шпангоута, установлены поперёк.

При продольной системе набора продольные балки борта и днища (3.10.4.6-) должны иметь предельный момент сопротивления,  $\text{см}^3$ , не менее

$$W = \frac{101 p b_1 l^2}{R_{eH}},$$

где  $b_1 = (1 - 0,3a/b)b_2$ ;  $b_2 = (1 - 0,25b/a)b$  (если  $b > 2a$ , то следует принимать  $b_2 = a$ ).

Площадь стенки продольных балок,  $\text{см}^2$ , должна быть не менее

$$f_{\text{ст}} = \frac{8,7 p b_1 l}{R_{eH}} \cdot k_1 + 0,1 h \cdot \Delta s,$$

где  $k_1 = \frac{1}{1 + 0,76a/(l + 0,5a)}$ , но не менее 0,8.

Требования к толщине стенки  $s_{\text{ст}}$ , мм, продольных балок

$$s_{\text{ст}} \geq \frac{1,4 p b_1}{R_{eH}} + \Delta s, \quad s_{\text{ст}} \geq 0,013 h \sqrt{R_{eH}} + \Delta s.$$

*Рамные шпангоуты при продольной системе набора борта (3.10.4.7-)* должны иметь предельный момент сопротивления,  $\text{см}^3$ , не менее

$$W = \frac{202 p a b l^H}{a_1 R_{eH}} \cdot (1 + k_g) \cdot \left( 2 - \frac{b_1}{b} \cdot (1,1 \cdot (1 + b/a) + 0,33 k_g) \right).$$

Если  $l^H > 2a_1$ , то принимается  $l^H = 2a_1$ . Коэффициент  $k_g$  принимается меньшим из следующих:

$$k_g = 3 \frac{b}{b_1} - 1,67 \frac{b}{a} - 2,15; \quad k_g = \frac{k}{2} - 0,125 \left( \frac{b}{a} + 2 \right),$$

где  $k$  – число продольных балок в пролёте рамного шпангоута.

Площадь стенки рамного шпангоута,  $\text{см}^2$ , должна быть не менее

$$f_{\text{ст}} = \frac{4,35 p b l^H}{a_1 R_{eH}} \cdot \left( 2 - 1,1 \left( \frac{b_1}{a} + \frac{b_1}{b} \right) \right) + 0,1h \cdot \Delta s.$$

Требования к толщине стенки и ширине полки рамного шпангоута такие же, как и при поперечной системе набора.

*Промежуточные интеркостельные шпангоуты* обычно имеют такой же профиль, как и продольные балки борта. Во всяком случае, высота их стенки должна быть не менее 80 % от высоты стенки продольных балок, а толщина стенки – не менее требуемой толщины для продольных балок.

*Рёбра жесткости*, подкрепляющие листовые конструкции (стенки рамных шпангоутов и *бортовых* стрингеров, диафрагмы и другие листы, примыкающие к борту), желательно (а для судов категорий Arc4 и выше – обязательно) располагать перпендикулярно к наружной обшивке. Момент инерции ребер жесткости,  $\text{см}^4$ , должен быть не менее

$$i = 0,01 R_{eH} l^2 (10sa + f_p),$$

где  $l$  – пролёт ребра жёсткости, м;  $s$  – толщина подкрепляемого листа, мм;  $a$  – расстояние между рёбрами жёсткости, м;  $f_p$  – площадь сечения ребра (без присоединённого пояска),  $\text{см}^2$ .

## 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ ПАЛУБ

### 4.1. Конструкции

*Система набора палуб* определяется в соответствии с рекомендациями подраздела 1.3. Кроме того, продольная система набора палуб в районе грузовых трюмов (танков) должна применяться:

- на наливных судах длиной 80 м и более;
- на судах открытого типа\* длиной 80 м и более;
- на навалочных, нефтенавалочных судах, рудовозах, нефтерудовозах;
- на накатных судах.

Нижние палубы обычно имеют поперечную систему набора (кроме палуб для накатных грузов).

Рамные бимсы при продольной системе набора палубы ставятся в плоскости сплошных флоров. В плоскости поперечных комингсов люков ставятся усиленные рамные бимсы (концевые люковые бимсы).

Карлингсы обычно располагаются в плоскости днищевых стрингеров, а также совмещаются с продольными комингсами люков, образуя комингс-карлингсы (рис. 4.1). Карлингсы опираются на поперечные переборки и, в свою очередь, являются промежуточными опорами для бимсов.

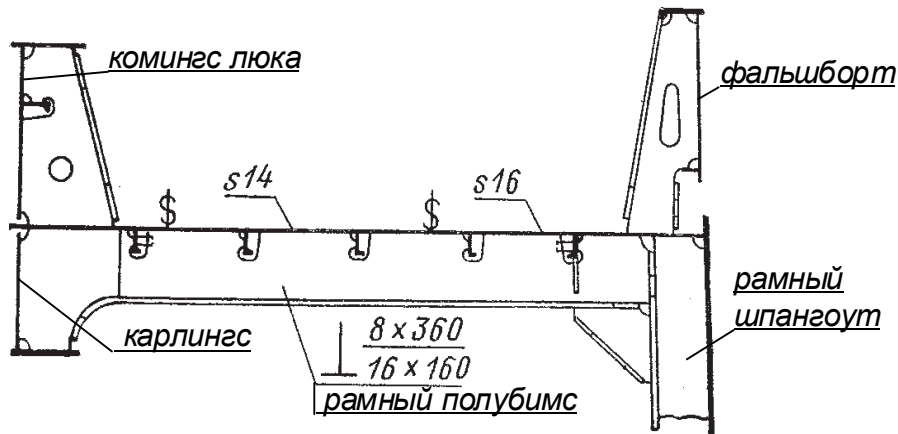


Рис. 4.1. Конструкция верхней палубы с продольной системой набора

\* Суда открытого типа (открытые суда, суда с широким раскрытием палубы) – суда, у которых ширина люка составляет не менее 70 % от ширины корпуса, а длина люка – не менее 70 % от длины трюма. Типичными открытыми судами являются контейнеровозы, пакетовозы, лихтеровозы.

Если отношение длины трюма (танка) к его ширине невелико, то карлингсы играют роль опор и для рамных бимсов. Так, у танкеров с двумя продольными переборками высокий карлингс (в два раза выше рамного бимса), называемый отбойным листом, ставится в диаметральной плоскости.

Соединение поясков карлингса и концевого люкового бимса должно выполняться с помощью крестовины, толщина которой должна быть равна большей толщине этих поясков (рис. 4.2).

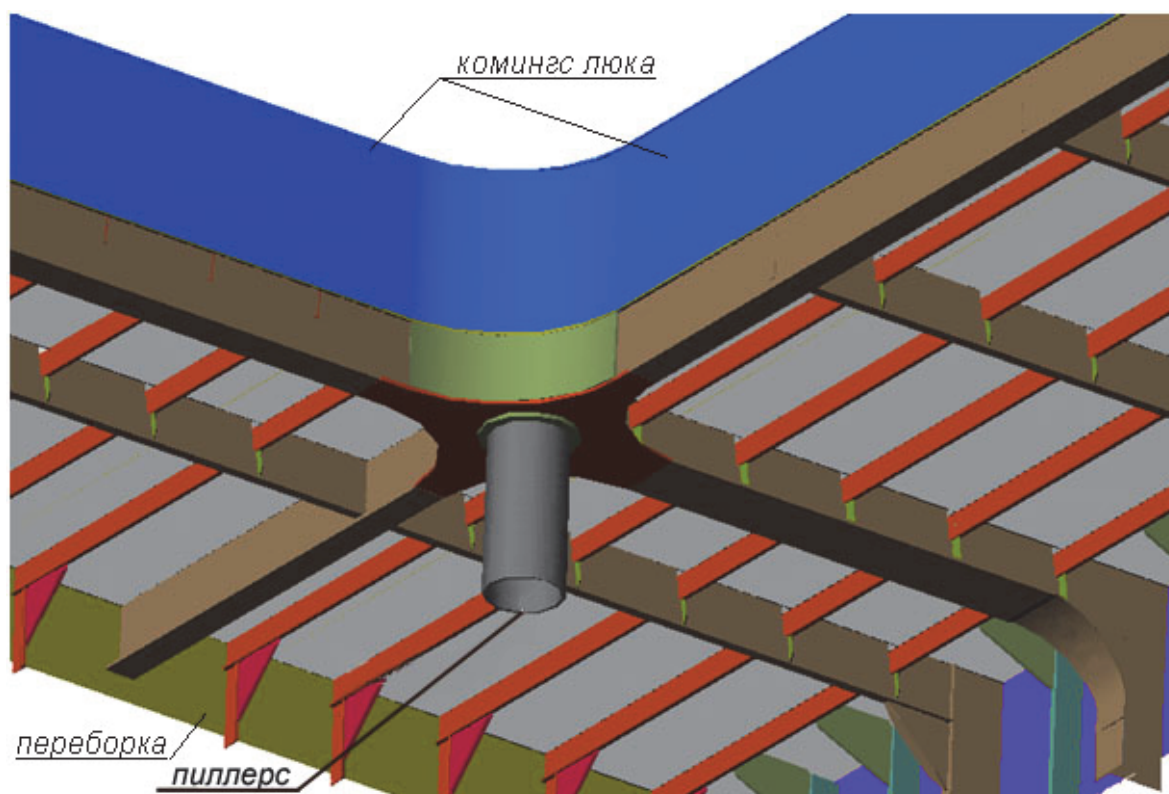


Рис. 4.2. Пиллерс в углу люкового выреза

При большом пролете рамные балки получаются высокими и мешают размещению генеральных грузов. Уменьшить размеры их сечений можно путем установки промежуточных опор, например пиллерсов (см. рис. 4.2). Однако часто стоящие пиллерсы также мешают размещению и погрузке – выгрузке грузов. При проектировании следует искать компромисс между количеством пиллерсов и размерами рамных подпалубных балок. Обычно пиллерсы ставятся по углам люка (на пересечении комингс-карлингсов с концевыми люковыми бимсами) или поддерживают концевые люковые бимсы в ДП. При большой длине люка комингс-карлингсы могут получиться слишком большими, тогда может быть полезным применение для них промежуточных опор в виде так называемых консольных бимсов (рис. 4.3). Они располагаются обычно посередине длины трюма.



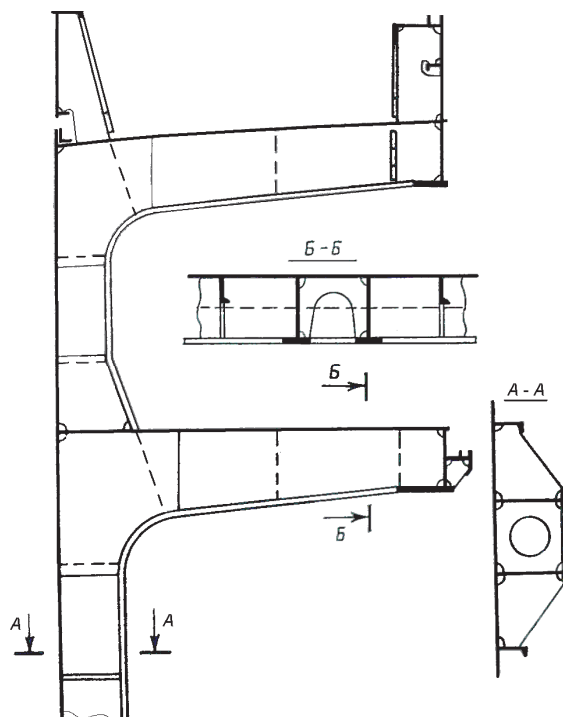


Рис. 4.3. Консольные бимсы

Комингс в углах люка может быть оформлен тремя основными способами:

- 1) со скругленным переходом продольного комингса в поперечный (рис. 4.4, а);
- 2) с кницей (рис. 4.4, б), продолжающей продольный комингс (если в их плоскости имеется карлингс);
- 3) в виде непрерывного продольного комингса, характерного для открытых и навалочных судов (рис. 4.5, а).

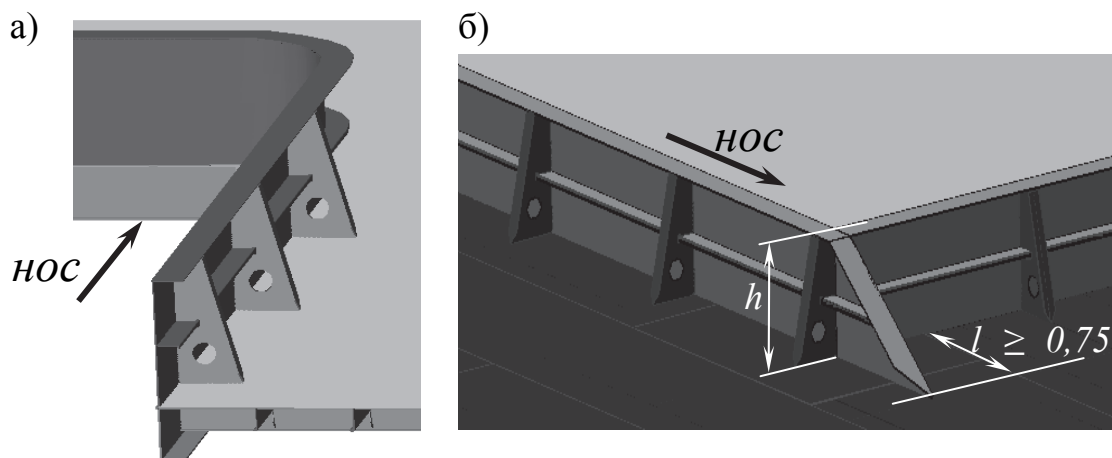


Рис. 4.4. Оформление комингса в углу люка:  
а – с закруглением; б – с кницей

У открытых судов с двойными бортами продольный комингс обычно является продолжением внутреннего борта. Кромки соседних люков могут быть расположены близко друг к другу, в этом случае межлюковые пере­мычки рекомендуется делать коробчатой формы (рис. 4.5, б).

У накатных судов в грузовой части часто нет поперечных переборок. В этом случае карлингсы опираются на ряды пиллерсов.

У навалочных судов конструкция палубы определяется конструкцией подпалубных цистерн (см. рис. 3.1).

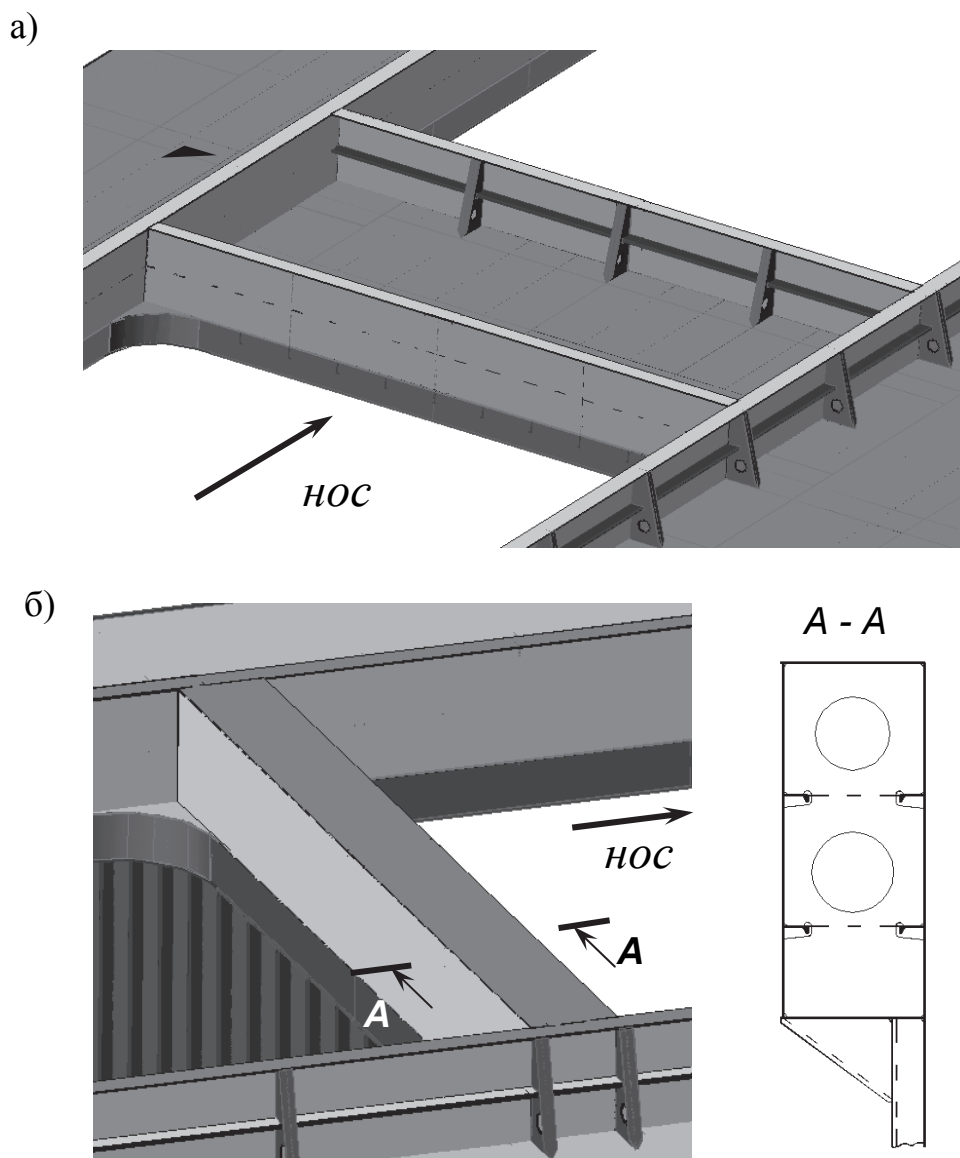


Рис. 4.5. Непрерывный продольный комингс и межлюковая пере­мычка: а – традиционная конструкция; б – с пере­мычкой коробчатого профиля

Карлингсы и рамные бимсы в местах установки пиллерсов должны быть подкреплены кницами или бракетами. В местах соединения карлингсов с обыкновенными бимсами стенка карлингса должна быть подкреплена вертикальными ребрами жесткости или кницами (рис. 4.6).

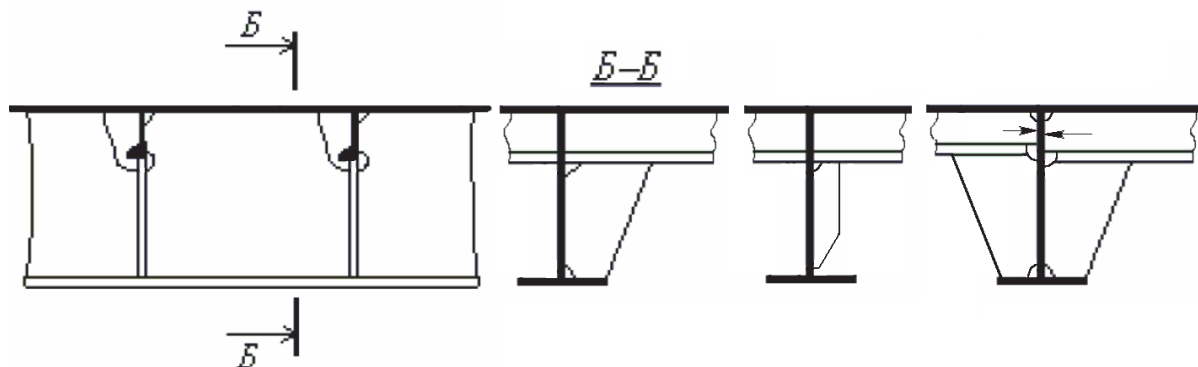


Рис. 4.6. Примеры подкреплений стенок рамных бимсов и карлингсов кницами или ребрами жесткости

В местах соединения карлингсов с рамными бимсами при разной высоте их стенок, стенка карлингса также должна быть подкреплена кницами в плоскости рамного бимса.

## 4.2. Размеры связей

Расчетное давление на верхнюю палубу в средней части корпуса  $p$  должно быть равно (2.6.3.1):

$$p \geq 0,7 p_w, \quad p \geq 0,015L + 7,$$

где  $p_w$  – волновая нагрузка, определяемая по формуле (1.4) на уровне палубы ( $z$  – высота надводного борта, м).

Если на палубе перевозится груз, то расчетное давление определяется по формуле (1.13). Для верхней палубы, предназначенной для перевозки круглого леса или кокса, давление груза можно уменьшить на 30 %.

При определении размеров продольных связей верхней палубы следует учитывать, что они испытывают не только местные нагрузки, но и нагрузки от общего продольного изгиба корпуса судна, поэтому размеры продольных связей далее будут уточняться в процессе анализа эквивалентного бруса корпуса.

Толщина настила палуб и платформ определяется по формуле (1.16), в которой  $m = 15,8$ . Коэффициент  $k_\sigma$  для средней части судна можно определить по рис. 4.7. Кроме того, минимальная толщина настилов  $s_{\min}$  определяется по табл. 4.1 (2.6.4.1-).

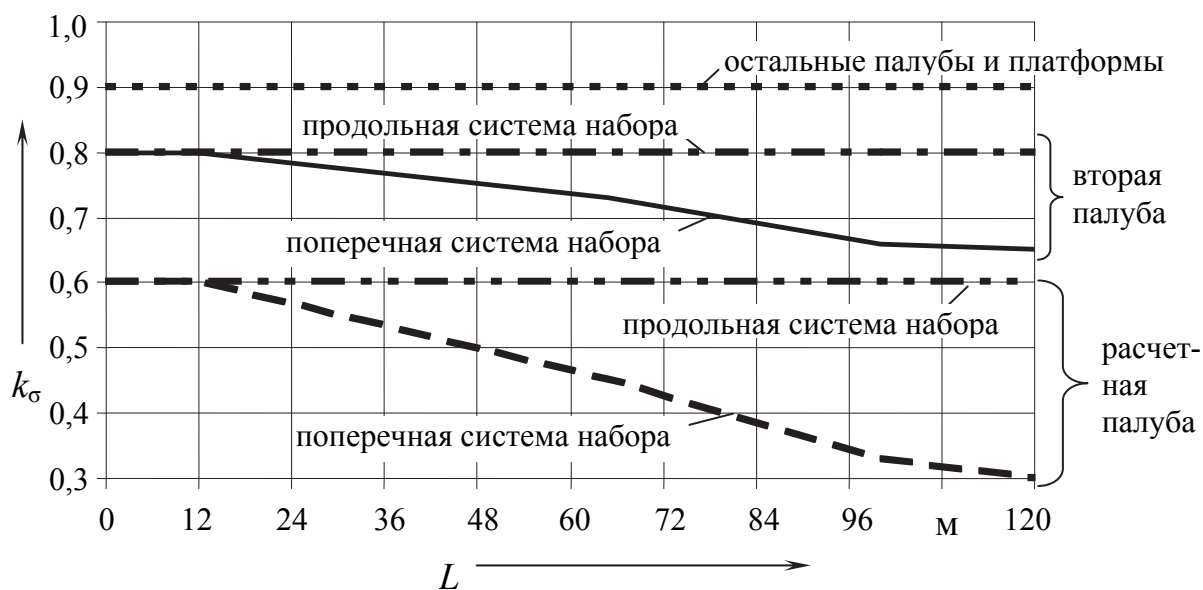


Рис. 4.7. Определение коэффициента  $k_{\sigma}$  для палуб

Если толщина настила расчетной палубы принимается меньше толщины обшивки борта, то необходим палубный стрингер. Его толщина должна быть не менее толщины бортовой обшивки, а ширина (мм) определяется из следующих условий:

$$b \geq 5L + 800, \quad b \geq 1800.$$

Профиль подпалубных балок подбирается по формулам (1.18) – (1.20) при следующих коэффициентах (2.6.4.2-):

- для продольных подпалубных балок  $m = 12$ ;  $k_{\sigma} = 0,45$  (для ВП);  $k_{\sigma} = 0,75$  (для остальных палуб);
- для бимсов при поперечной системе набора  $m = 10$ ;  $k_{\sigma} = 0,65$ ;
- для рамных бимсов и полубимсов, поперечных комингсов люков и концевых люковых бимсов ВП  $m = 10$ ;  $n = 0,5$ ;  $k_{\sigma} = k_{\tau} = 0,65$ ;
- для карлингсов и комингс-карлингсов ВП  $k_{\sigma} = 0,35$ ;  $k_{\tau} = 0,65$ ;  $n = 0,5$ ;  $m = 10$  (для прерывистых комингс-карлингсов);  $m = 12$  (для непрерывных комингс-карлингсов);
- для рамных связей остальных палуб и платформ  $k_{\sigma} = k_{\tau} = 0,7$ ;  $m = 10$ ;  $n = 0,5$ .

Таблица 4.1

Минимальная толщина настилов палуб  $s_{\min}$ 

Район	$L < 100$ м	$L \geq 100$ м
ВП между бортом и линией больших вырезов	$s_{\min} = (4 + 0,05L) \sqrt{\eta}$	$s_{\min} = (7 + 0,02L) \sqrt{\eta}$
Вторая палуба, ВП внутри линии больших вырезов	$s_{\min} = (4 + 0,04L) \sqrt{\eta}$	$s_{\min} = (7 + 0,01L) \sqrt{\eta}$
Остальные палубы и платформы	$s_{\min} = (5 + 0,01L) \sqrt{\eta}$	

Если опоры рамных балок не являются жесткими, то подбор их профиля следует выполнять при расчете всего палубного перекрытия как стержневой системы (2.6.4.2). Момент инерции бимсов судна длиной  $L \geq 65$  м после расчета эквивалентного бруса следует уточнить из расчета устойчивости палубного перекрытия как стержневой системы\*.

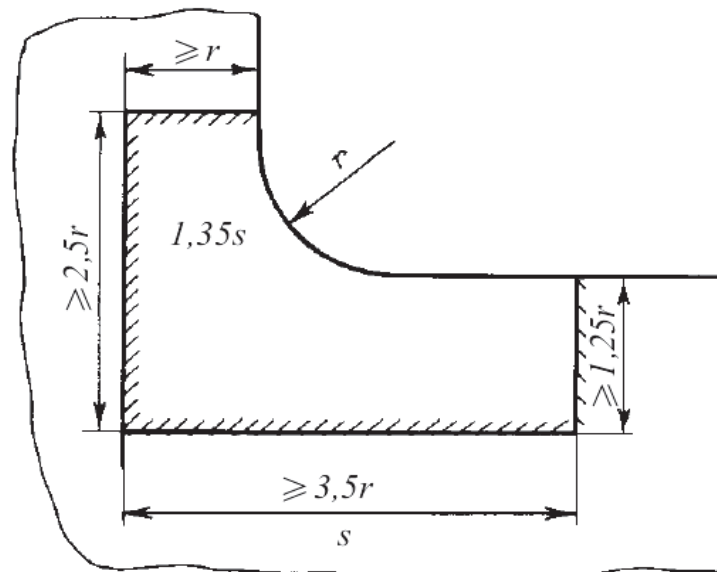


Рис. 4.8. Размеры утолщенного сварного листа

Радиус закругления  $r$  углов вырезов грузовых люков ВП должен быть не менее 10 % от ширины выреза (2.6.5.1-). Если угол подкреплен утолщенным сварным листом (рис. 4.8), то радиус можно уменьшить до 7 % от ширины выреза. Для второй палубы радиус  $r$  может быть уменьшен вдвое, но не менее 20 см.

Для остальных палуб и платформ, а также для всех палуб судов длиной менее 40 м радиус  $r$  должен быть не менее 15 см.

\* При выполнении курсового проекта допускается не выполнять расчет перекрытий.

## 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СВЯЗЕЙ ПЕРЕБОРОК

### 5.1. Конструкции

Простейшая и наиболее распространенная система набора переборок – однородная, состоящая из одинаковых стоек. Она наиболее применима для лесовозов, сухогрузов, навалочников.

Часто применяется гофрированная обшивка переборок, при этом гофры заменяют балки основного набора. Расстояние между вершинами (длина волны) гофра принимается равным двум шпациям.

Если пролет стоек большой, то необходимо устанавливать промежуточные опоры – шельфы. Но следует учитывать, что шельфы сухогрузов уменьшают полезное грузовое пространство. Шельфы ставятся в одной плоскости с бортовыми стрингерами.

У судов для массовых грузов шельфы осложняют зачистку трюмов, поэтому переборки таких судов в трюмах делают с однородной системой набора или с двойной обшивкой.

Для уменьшения высоты профиля шельфов их подкрепляют одной или несколькими промежуточными опорами – рамными стойками. Рамные стойки ставятся в одной плоскости с днищевыми стрингерами. Такая неоднородная система набора характерна для переборок наливных судов, но встречается также у крупных сухогрузных судов открытого типа.

Если рамные стойки и шельфы имеют одинаковую высоту профиля, то их пояски могут образовывать вторую обшивку переборки (сплошную или с вырезами). Такие переборки встречаются, например, у контейнеровозов (рис. 5.1). Двойные переборки с непроницаемыми обшивками образуют коффердамы, обеспечивающие защиту от пожара.

Система набора с горизонтальными балками основного набора встречается у крупнотоннажных судов. Такая конструкция хорошо сочетается с конструкцией борта по продольной системе набора. Такая система набора характерна для продольных переборок танкеров. Продольные переборки с горизонтальными гофрами допускаются у танкеров длиной до 180 м.

По границе гофрированной переборки, идущей вдоль гофров, должны быть предусмотрены плоские переходные участки, конструкция, толщина и подкрепление которых должны удовлетворять требованиям к плоским переборкам (2.7.2.4). Ширина плоских участков должна быть не менее  $0,08B$  (у поперечных переборок с вертикальными гофрами) или  $0,1D$  (у переборок с горизонтальными гофрами). Закрепление концов гофров должно выполняться непосредственной приваркой их к примыкающей обшивке (настилу), при этом следует обратить внимание на исключение «жестких точек».

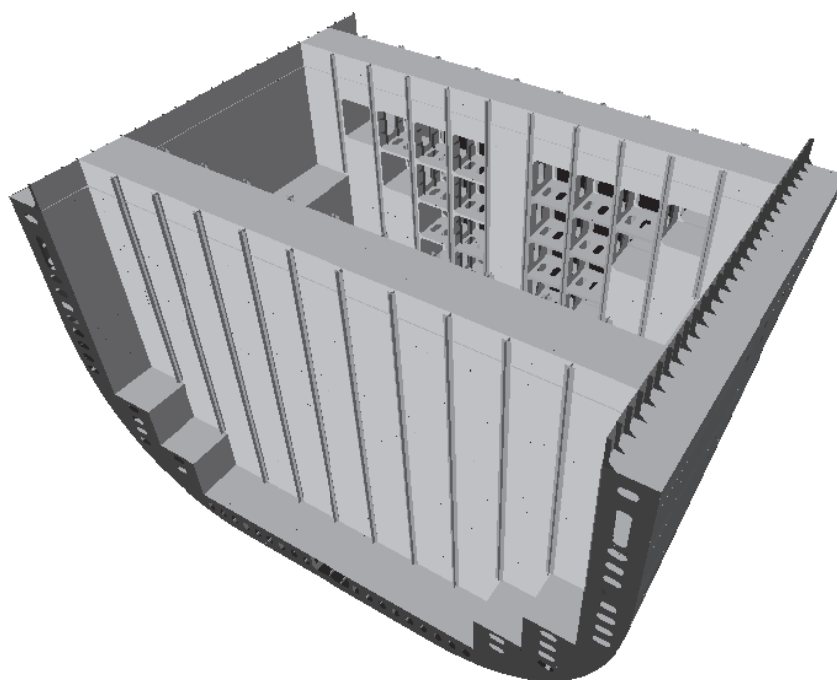


Рис. 5.1. Двойные поперечные переборки контейнеровоза

У судов для навалочных грузов (рис. 5.2) нижний край гофрированной переборки крепится к специальной трапецидальной опоре (3.3.2.10-). Верхний край должен привариваться к поперечной коробчатой балке (подпалубной цистерне) с вертикальными или наклонными стенками высотой, равной примерно одной десятой расстояния между бортовыми подпалубными цистернами (3.3.2.11-).

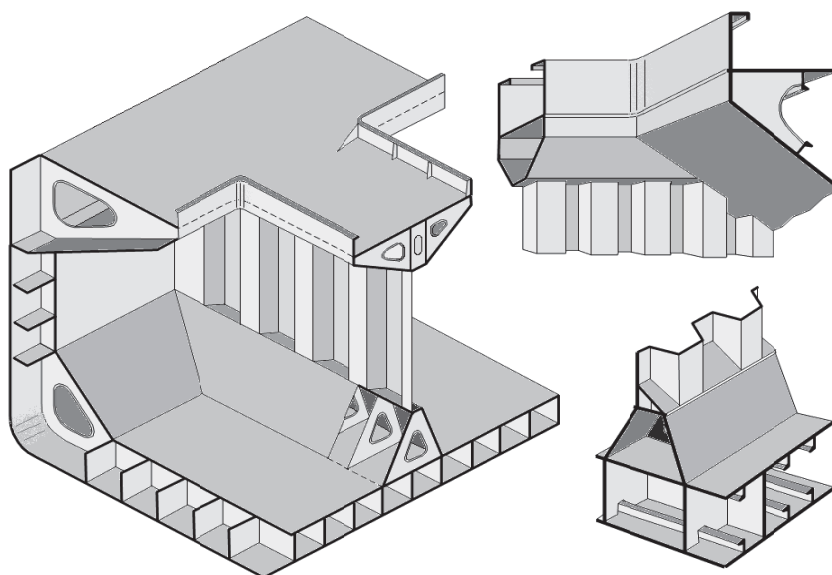


Рис. 5.2. Гофрированная переборка навалочника с трапецидальными опорами

В пересечениях продольных и поперечных переборок должна быть обеспечена конструктивная непрерывность продольных переборок.

Полупереборки должны быть плоскими и подкреплены стойками.

Концы всех балок переборок должны закрепляться кницами.

## 5.2. Размеры связей

*Определение расчетного давления* на конструкции непроницаемых переборок (со стороны груза или балласта) рассмотрено в пункте 1.5.3 данного пособия. В любом случае это давление должно быть не менее 12 кПа.

Расчетное давление на отбойные переборки и отбойные листы должно быть не менее

$$p_r = \rho_r \cdot (4 - L/200) \cdot l \text{ для поперечных отбойных переборок,}$$

$$p_r = \rho_r \cdot (5 - B/100) \cdot b \text{ для продольных отбойных листов,}$$

где  $l$  и  $b$  – соответственно длина и ширина отсека, м.

Кроме того, расчетное давление на отбойные конструкции должно быть не менее 25 кПа

*Ширина нижнего пояса* переборки должна быть не менее 0,9 м (2.7.5.1). Ширина верхнего и нижнего поясов обшивки продольных переборок должна быть не менее  $0,1D$ , однако может быть не более 1,8 м.

*Толщина обшивки* непроницаемых переборок вычисляется по формуле (1.16), где принимается  $m = 15,8$ ;  $k_\sigma = 0,9$  (2.7.4.1-). Кроме того, толщина должна быть не менее

$$s_{\min} = 7 \text{ мм при } L \geq 150 \text{ м,}$$

$$s_{\min} = 4 + 0,02L \text{ при } L < 150 \text{ м.}$$

Толщина нижних листов должна быть на 1 мм больше  $s_{\min}$  и не меньше 6 мм.

Толщина крайних листов переборки может быть принята равной толщине листов обшивки или настила, к которым они примыкают (при одинаковых шпациях набора и материалах).

Минимальная толщина обшивки и балок набора переборок наливных судов в районе грузовых и балластных танков определяется по формулам (2.2).

Толщина обшивки из коробчатых гофров должна определяться по формуле (1.16), при вычислении следует принимать значение  $a$  равным большей из величин  $b$  и  $c$  (рис. 5.3, а). При этом должно быть выдержано соотношение  $b/s \leq 0,06\sqrt{\eta}$ .



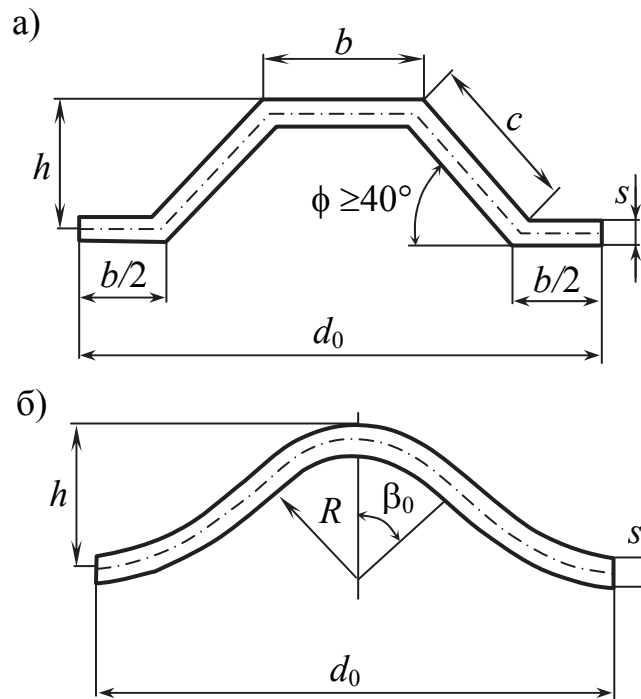


Рис. 5.3. Коробчатые (а)  
и волнистые (б) гофры

Толщина обшивки из волнистых гофров должна быть не менее

$$s = 22\beta_0 R \sqrt{\frac{p}{k_\sigma \sigma_n}} + \Delta s,$$

где  $\beta_0$  – половина угла раствора гофра (рис. 5.3, б), рад;  $R$  – радиус гофра, м;  $k_\sigma = 0,9$ .

При этом должно быть выдержано соотношение

$$R/s \leq 17/R_{eH}.$$

Профиль балок основного набора переборок определяется по моменту сопротивления из формулы (1.18), в которой принимается (2.7.4.2-)  $m = 12$ ;  $k_\sigma = 0,55$  (для горизонтальных балок продольных переборок танкеров);  $k_\sigma = 0,75$  (в остальных случаях). При подборе гофров также используется формула (1.18), в которой принимается  $m = 10$ ;  $a = d_0$ .

Неразвернутая ширина и фактический момент сопротивления гофра могут быть определены по формулам, приведенным в табл. 5.1, где линейные размеры подставляются в сантиметрах, значения  $\phi$  и  $\beta_0$  – в градусах, а коэффициент  $\gamma$  вычисляется по формуле

$$\gamma = 2 \cdot \frac{\beta_0 + 2\beta_0 \cos^2 \beta_0 - 1,5 \sin 2\beta_0}{1 - \cos \beta_0}.$$

Таблица 5.1

## Характеристики гофров

Тип гофра	Неразвернутая ширина, см	Момент сопротивления, см <sup>3</sup>
Коробчатый	$d_0 = 2(b + c \cdot \cos \varphi)$	$W_0 = h \cdot s(b + c/3)$
Волнистый	$d_0 = 4R \cdot \sin \beta_0$	$W_0 = \gamma \cdot s \cdot R^2$

Для упрощения проектирования коробчатых гофров в курсовом проекте можно положить  $b = c$ , тогда после определения толщины и требуемого момента сопротивления [из формулы (1.18)] получим высоту по формуле

$$h \geq W / (s(b + c/3)).$$

Для волнистых гофров можно принять  $\beta_0 = 45^\circ$ , тогда радиус определится по формуле

$$R \geq \sqrt{W/\gamma s}.$$

*Балки рамного набора* сложных переборок (если переборка имеет и шельфы, и рамные стойки) подбираются на основе расчета перекрытия как стержневой системы\*.

Если же рамные балки не пересекаются с другими рамными связями, то их размеры должны быть определены в соответствии с указаниями подраздела 1.7 данного пособия. При этом в формулах (1.18) и (1.19) принимается (2.7.4.3-)  $k_\sigma = 0,55$  (для шельфов продольных переборок танкеров);  $k_\sigma = 0,75$  (в остальных случаях);  $k_t = 0,75$ .

Коэффициенты  $m$  и  $n$  для рам продольных переборок танкеров принимаются в зависимости от количества распорок в бортовых танках по табл. 5.2, в остальных случаях – по табл. 5.3.

Таблица 5.2

Коэффициенты  $m$  и  $n$  в зависимости от количества распорок

Балки набора	Параметр	Число распорок			
		0	1	2	3
Рамная стойка	$m$	11	24	24	24
	$n$	0,500	0,325	0,300	0,275
Шельф	$m$	18	36	36	36
	$n$	0,50	0,35	0,30	0,30

\* При выполнении курсового проекта расчеты перекрытий как стержневых систем разрешается не выполнять. Если применение сложной системы набора переборки неизбежно, обратитесь за советом к преподавателю.

У рамных балок гофрированных переборок в качестве расчетного профиля принимается наименьшее по высоте поперечное сечение.

Таблица 5.3

Коэффициенты  $m$  и  $n$  в зависимости от места расположения балок

Балки набора		$m$	$n$
Рамная стойка	в трюмах или танках	11	0,5
	в твиндеках	10	0,5
Шельф	в цистернах	10	0,5
	в бортовых танках	18	0,5

Стойки полупереборок, поддерживающие рамные и концевые люковые бимсы, должны удовлетворять требованиям для соответствующих пиллерсов (см. раздел 6). Эйлеравы напряжения в стойках должны быть не менее  $200\eta$  МПа.

## 6. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПИЛЛЕРСОВ И ФАЛЬШБОРТА

### 6.1. Подбор пиллерсов

Оси пиллерсов в твиндеках и трюме следует располагать на одной вертикали. В трюме пиллерсы опираются на сплошные флоры или стрингеры, а при нагрузке на пиллерс более 250 кН – на их пересечения. Рекомендуется ставить пиллерс в месте пересечения карлингса и рамного бимса (см. рис. 4.2). Если же он поддерживает одну балку, то ее стенка над пиллерсом должна быть подкреплена кницами.

Сечение пиллерсов обычно трубчатое, однако в цистернах оно должно быть открытым. Концы пиллерсов, как правило, закрепляются кницами.

При нагрузке на пиллерс менее 250 кН вместо книц могут быть поставлены накладные или утолщенные сварные листы с диаметром, превышающим наружный диаметр пиллерса на шесть толщин листа. Толщина накладного листа  $s$  равна:

$$s \geq \frac{P}{300} + 10,$$

где  $P$  – нагрузка на пиллерс.

Нагрузка на пиллерс определяется по следующей формуле (2.9.3-):

$$P = \sum_i p_i S_i,$$

где  $p_i$  – расчетное давление на  $i$ -ю палубу (платформу), расположенную выше пиллерса, кПа;  $S_i$  – площадь части  $i$ -й палубы, поддерживаемой пиллерсом, м<sup>2</sup>.

Площадь сечения пиллерса  $f$  (см<sup>2</sup>) определяется методом последовательных приближений из условия (2.9.4-):

$$f \geq \frac{20 P}{\sigma_{cr}} + \Delta f ,$$

где  $\sigma_{cr}$  – критическое напряжение, определяемое в зависимости от эйлерового напряжения  $\sigma_e$  по формулам подраздела 7.5;  $\Delta f$  – надбавка на износ;  $h_\Sigma$  – периметр профиля, мм.

Для открытого профиля принимается в два раза меньшая поправка на износ.

Надбавка на износ  $\Delta f$  определяется по формуле

$$\Delta f = 0,01 h_\Sigma \Delta s .$$

В первом приближении можно принять  $f = 40 P / R_{eH}$  .

Толщина стенки пиллерса должна быть не менее 6 мм, а также соответствовать следующим неравенствам:

- для трубчатых пиллерсов  $s \geq d / 50 + 3,5$  ( $d$  – наружный диаметр, мм);
- для пиллерсов составного профиля  $s \geq h / 50$  ( $h$  – высота стенки, мм).

## 6.2. Проектирование фальшборта

Конструкция фальшборта в средней части судна длиной  $L \geq 65$  м должна быть такой, чтобы он не участвовал в общем изгибе корпуса (2.14.1). Это требование обеспечивается щелевым шпигатом – зазором между стенкой фальшборта и верхней кромкой ширстрека (см. рис. 4.1, 4.3). Высота фальшборта должна быть не менее 1 м.

Стенка фальшборта должна подкрепляться стойками, расстояние между которыми  $a \leq 1,8$  м (при креплении к фальшборту стенозелей для лесного палубного груза, а также для судов, швартующихся в море,  $a \leq 1,2$  м). Стойки должны иметь свободный поясok или отогнутый фланец, которые не привариваются к планширю и палубе. Планширь фальшборта изготавливается из полособульба или из полосы с отогнутым фланцем. Нижняя кромка стенки фальшборта (над щелевым шпигатом) подкрепляется горизонтальным ребром жесткости или фланцем.

У судов, которые при эксплуатации могут швартоваться в море в условиях волнения, фальшборт должен иметь наклон к ДП на одну десятую от своей высоты или отстоять от борта на такое же расстояние.

Минимальная толщина стенки фальшборта  $s$  (мм) равна:

$$s = 0,065 L + 1,75 \geq 3 \quad \text{при } L \leq 60 \text{ м,}$$

$$s = 0,025 L + 4 \leq 8,5 \quad \text{при } L > 60 \text{ м.}$$

Расчетной нагрузкой на фальшборт является волновое давление, определяемое по формуле (1.4). Кроме того, давление не должно быть меньше 15 кПа, а также следующих величин:

$$p_{\min} = (0,02 L + 14) \varphi_r \quad \text{при } L < 300 \text{ м,}$$

$$p_{\min} = 20 \varphi_r \quad \text{при } L \geq 300 \text{ м,}$$

где  $\varphi_r$  определяется по формуле (1.7).

Стойки фальшборта должны иметь момент сопротивления в соответствии с формулами (1.18) и (1.20) при  $m = 2$ ,  $k_\sigma = 0,65$ . Ширина планширя принимается равной ширине верхнего конца стойки.

Если на фальшборт может воздействовать палубный груз, то необходима дополнительная проверка прочности фальшборта на эту нагрузку\* с учетом крена и ускорений, определяемых по формулам соответственно (1.10) и (1.8) при коэффициенте допускаемых напряжений  $k_\sigma = 0,65$ .

## 7. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБЩЕЙ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА

Корпус большинства судов имеет отношение длины к поперечным размерам больше пяти и достаточно большую поперечную жесткость, обеспечиваемую поперечными переборками, поэтому он достаточно точно моделируется балкой переменного сечения (эквивалентным брусом). Расчет такой балки позволяет оценить общую продольную прочность судна.

Расчет общей продольной прочности включает в себя следующие шаги:

- вычисление расчетных нагрузок, определяющих продольную прочность судна, а именно изгибающих моментов и перерезывающих сил, которые складываются из трех составляющих: на тихой воде; волновых добавок; добавок от ударов волн в носовую оконечность (от слеминга);
- определение требований Правил Регистра в виде условий к моменту сопротивления и моменту инерции сечения эквивалентного бруса, критических и допускаемых напряжений;
- расчет параметров сечения эквивалентного бруса (фактических напряжений, момента сопротивления и момента инерции);

---

\* При выполнении курсового проекта допускается такой расчет не выполнять.

– оценка общей прочности путем сравнения требуемых и фактических параметров. В случае невыполнения хотя бы одного условия следует откорректировать размеры продольных связей и повторить расчет эквивалентного бруса.

### 7.1. Изгибающие моменты на тихой воде

Если имеются данные о форме корпуса судна (теоретический чертеж) и известно распределение весовой нагрузки по его длине, то вычисление изгибающих моментов и срезающих сил на тихой воде производится путем интегрирования нагрузки по длине судна или интегрированием по статьям нагрузки [2; 9; 16].

В курсовом проекте наибольшие изгибающие моменты на тихой воде  $M_{sw}$  (кН·м) в миделевом сечении корпуса допускается определять по приближенным формулам.

Для грузовых судов с МО в средней части значение  $M_{sw}$  вычисляется по следующим формулам:

– при перегибе корпуса судна [16]

$$M_{sw} = 0,0715 \Delta L (0,933 - c_b), \quad (7.1)$$

где  $\Delta = \rho g c_b L B d$  – весовое водоизмещение судна, кН;

– при прогибе

$$M_{sw}^* = 0,1 M_{sw}. \quad (7.2)$$

При промежуточном положении МО изгибающие моменты, вычисленные по формулам (7.1) и (7.2), уменьшаются на 25 % при смещении МО в корму от миделя на  $0,1L$  и на 40 % – при смещении от  $0,2L$  до  $0,3L$ .

Для грузовых судов длиной до 140 м с МО в корме значение  $M_{sw}$  вычисляется по следующим формулам:

– при перегибе

$$M_{sw} = 0,0034 \Delta \frac{L^2}{d} (1,15 - c_b);$$

– при прогибе

$$M_{sw}^* = -0,5 M_{sw}.$$

Для грузовых судов длиной более 140 м с МО в корме значение  $M_{sw}$  вычисляется по следующим формулам:

– при прогибе

$$M_{sw}^* = -\Delta L / k;$$

- при перегибе

$$M_{sw} = -0,67M_{sw}^*$$

Коэффициент  $k$  определяется по судну – прототипу, а если его нет, то по следующим приближенным формулам:

- для сухогрузов

$$k = 0,5L + 10 \quad \text{при } L \leq 200 \text{ м,}$$

$$k = 120 \quad \text{при } L > 200 \text{ м;}$$

- для танкеров

$$k = 0,5L + 50 \quad \text{при } L \leq 200 \text{ м,}$$

$$k = 160 \quad \text{при } L > 200 \text{ м.}$$

## 7.2. Изгибающие моменты от волнения

Волновые изгибающие моменты  $M_w$  (кН·м) в средней части корпуса судна определяются по следующим формулам (1.4.4.1):

- момент, вызывающий перегиб корпуса:

$$M_w = 0,19c_w C_b BL^2; \quad (7.3)$$

- момент, вызывающий прогиб:

$$M_w^* = -0,11c_w (C_b + 0,7) BL^2, \quad (7.4)$$

где  $c_w$  – волновой параметр, вычисляемый по формулам (1.6).

Для судов ограниченного района плавания волновые моменты, определенные по формулам (7.3), (7.4), следует откорректировать в соответствии с требованием (1.4.4.3) Правил Регистра.

У судов длиной от 100 до 200 м с большим развалом бортов в носовой оконечности необходимо также учесть изгибающий момент  $M_F$  от удара волн в развал бортов по формулам раздела (1.4.5) Правил Регистра\*.

---

\* При выполнении курсового проекта необходимость расчета изгибающего момента от удара волн в развал бортов следует согласовать с преподавателем.

### 7.3. Требования Правил Регистра по обеспечению общей продольной прочности

Требования Правил Регистра к общей продольной прочности (1.4-) распространяются на суда длиной  $L \geq 60$  м. Для таких судов требуется выполнение следующих условий:

$$\begin{aligned} W_d^{\text{факт}} &\geq W, & W_b^{\text{факт}} &\geq W, \\ W_d^{\text{факт}} &\geq W^*, & W_b^{\text{факт}} &\geq W^*, \end{aligned} \quad (7.5)$$

где  $W_d^{\text{факт}}$  и  $W_b^{\text{факт}}$  – фактические моменты сопротивления корпуса судна для точек палубы и днища соответственно,  $\text{см}^3$  (определяются путем анализа эквивалентного бруса);  $W$  и  $W^*$  – требуемые моменты сопротивления по критериям прочности при перегибе и прогибе соответственно.

Значения  $W$  и  $W^*$  определяются по формулам

$$\begin{aligned} W &= \frac{M_{sw} + M_w}{\sigma_{\text{доп}}} \cdot 10^3, \\ W^* &= \frac{|M_{sw}^* + M_w^* + M_F|}{\sigma_{\text{доп}}} \cdot 10^3, \end{aligned}$$

где  $\sigma_{\text{доп}} = 175/\eta$  – допускаемые напряжения, МПа.

Кроме того, фактические моменты сопротивления корпуса не должны превышать величины

$$W_{\min} = c_w B L^2 (C_b + 0,7) \cdot \eta. \quad (7.6)$$

Для судов ограниченного района плавания величину  $W_{\min}$  следует откорректировать в соответствии с требованием (1.4.6.7) Правил Регистра.

Момент инерции поперечного сечения корпуса  $I$  ( $\text{см}^4$ ), должен быть не менее

$$I_{\min} = 3c_w B L^3 (C_b + 0,7). \quad (7.7)$$

Для судов ограниченного района плавания величину  $I_{\min}$  следует откорректировать в соответствии с требованием (1.4.6.9) Правил Регистра.

Для того чтобы определить и выполнить требования к устойчивости отдельных продольных связей корпуса, сначала сформируем расчетную модель – эквивалентный брус.



## 7.4. Расчет эквивалентного бруса

При расчете эквивалентного бруса вначале следует вычертить все продольные связи, входящие в расчетную модель (рис. 7.1).

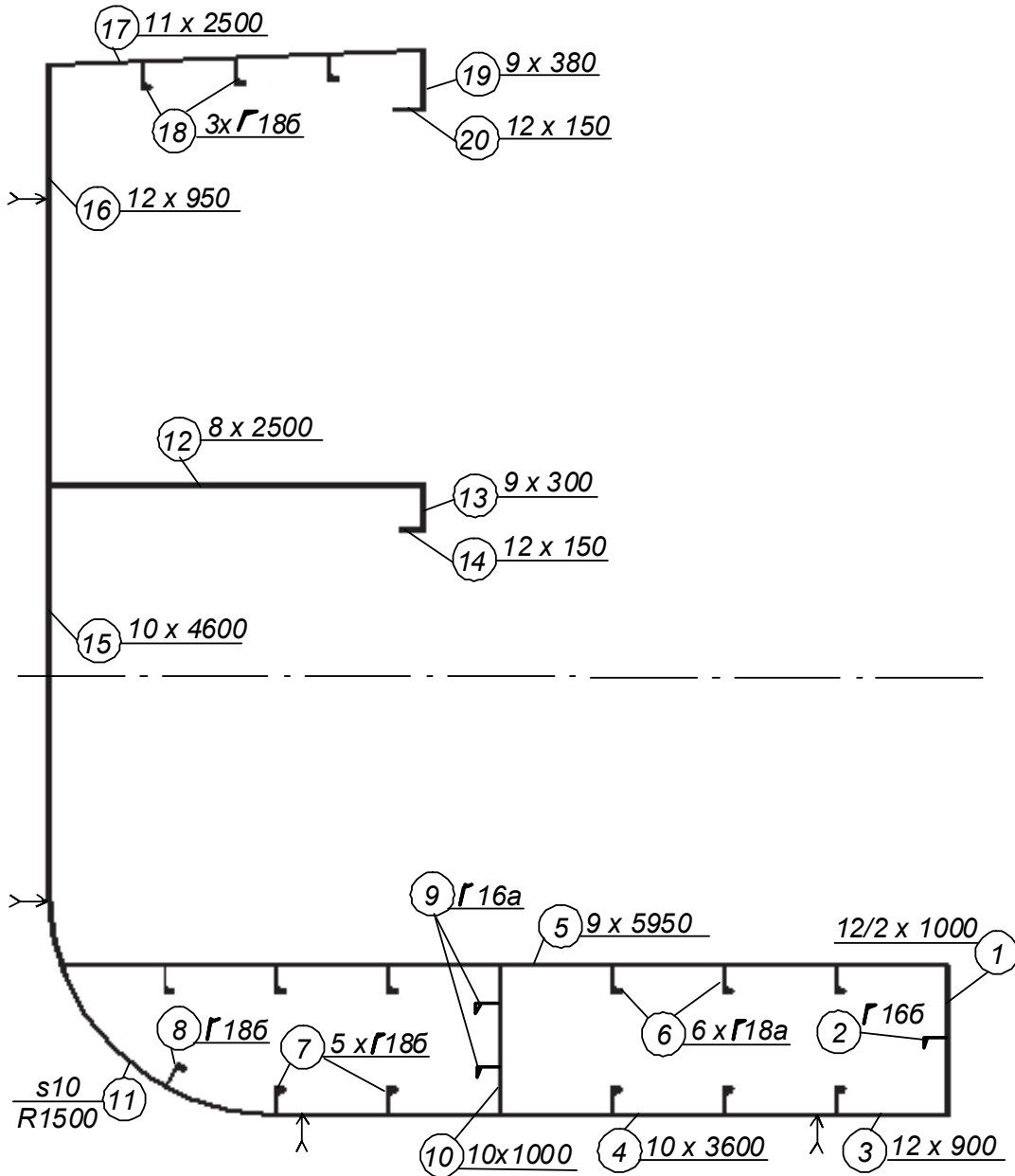


Рис. 7.1. Расчетное сечение корпуса судна

По заданным значениям  $D$ ,  $B$ , углу килеватости днища  $\alpha$  и углу наклона борта  $\gamma$  вычерчивается обвод мидель-шпангоута (ввиду симметрии показывается половина сечения). При этом радиус скулы  $R$  можно определить по следующим формулам:

- при плоском днище и наклонных бортах

$$R = \sqrt{\frac{d \cdot B}{0,43 - \operatorname{tg} \gamma} \cdot \left(1 - \beta - \left(\frac{d \cdot \operatorname{tg} \gamma}{B}\right)\right)};$$

– при килеватом днище и вертикальных бортах

$$R = \sqrt{\frac{d \cdot B}{0,43 - \operatorname{tg} \alpha} \cdot \left(1 - \beta - \left(\frac{B \cdot \operatorname{tg} \alpha}{4 \cdot d}\right)\right)},$$

где  $\beta$  – коэффициент полноты мидель-шпангоута.

Далее наносятся все непрерывные продольные связи, участвующие в общем продольном изгибе судна. К таким связям, в частности, относятся:

- обшивка и продольный набор днища, бортов, продольных переборок, скуловых и подпалубных цистерн;
- настилы;
- продольный набор палуб и второго дна;
- непрерывные продольные комингсы люков и продольные перемычки между парными (тройными) люками (при условии, что эти связи поддерживаются продольными переборками, внутренними бортами или подпалубными цистернами).

Если продольные межлюковые перемычки не поддерживаются продольными переборками, их следует включать в эквивалентный брус не всей площадью сечения  $F_{\text{ПМП}}$ , а площадью

$$F_{\text{ПМП}} = \xi \cdot F_{\text{ПМП}},$$

где  $\xi$  – редуцирующий коэффициент.

Коэффициент  $\xi$  определяется по формуле

$$\xi = m + \frac{1}{3}(0,65 + C_b)k_L,$$

где  $m = 0,1$  (для парных люков),  $m = 0,12$  (для тройных люков);  $k_L$  – коэффициент, определяемый по (1.4.8.2).

В курсовом проекте допускается принять  $k_L = 1$ .

Вырезы в палубах длиной более 2,5 м и (или) шириной более 1,2 м следует учитывать в эквивалентном брус (1.4.8.3).

На чертеже эквивалентного бруса необходимо пронумеровать все продольные связи, проставить размеры их сечений в сантиметрах (см. рис. 7.1).

Далее вычисляются геометрические характеристики эквивалентного бруса. Расчет оформляется в виде табл. 7.1.

Таблица 7.1

## Расчет эквивалентного бруса

№	Наименование и размеры, см	Площадь сечения $f_i$ , см <sup>2</sup>	Расстояние от оси сравнения, $z_i$ , м	Статический момент $f_i z_i$ , м·см <sup>2</sup>	Моменты инерции, м <sup>2</sup> ·см <sup>2</sup>		Расстояние от нейтральной оси $z_i$ , м	Напряжения $\sigma_i$ , МПа		
					переносный $f_i z_i^2$	собственный $i_c$		при прогибе	при перегибе	критические
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ВК, 0,6x100	60	0,5	30	15	5				
2	р.ж. ВК, п/б 16б	10,58	0,5	5,29	2,65	0				
3	ГК, 1,2x90	108	0	0	0	0				
4	Обшивка днища, 1,0x360	360	0	0	0	0				
5	Настил 2 дна, 0,9x595	535,5	1	535,5	535,5	0				
6	Прод. балки 2 дна, 6 х п/б 18а	133,2	0,89	118,55	105,5	0,43				
7	Прод. балки днища, 5 х п/б 18б	129	0,11	14,2	1,56	0,42				
8	Прод. балка днища, п/б 18б	21	0,25	6,45	1,61	0,07				
9	р.ж. дн. стрингера, 2 х п/б 16а	35,92	0,5	17,96	8,98	1,44				
10	Днищевой стрингер, 1,0x100	100	0,5	50	25	8,33				
11	Скuloвой лист, s1,0 R150	235,6	0,44	103,66	45,6	40,37				
12	Настил палубы, 0,8x250	200	4,1	820	3362	0				
...										
19	Стенка карлингса, 0,9x38	34,2	6,86	234,6	1609,4	0,41				
20	Полка карлингса, 1,2x15	18	6,67	120,1	800,8	0				
Суммы по графам		$A = 2957,2$	–	$B = 7129,2$	$C = 36291$					

Собственные моменты инерции сечений вертикальных элементов (графа 7 табл. 7.1) определяются по формуле

$$i_c = 100s \cdot h^3 / 12,$$

где  $s$  – толщина связи, см;  $h$  – высота, м.

Собственные моменты инерции сечений наклонных листов определяются по формуле

$$i_c = \frac{100 s \cdot l \cdot h^2}{12} = \frac{100 s \cdot b \cdot h^2}{12 \cdot \cos \alpha},$$

где  $s$  – толщина связи, см;  $l$ ,  $h$ ,  $b$  – соответственно длина, высота и ширина элемента, м;  $\alpha$  – угол наклона элемента к ОП.

Собственными моментами инерции горизонтальных связей можно пренебречь ввиду их малости.

Собственные моменты инерции профилей катаных балок приведены в сортаментах (приложение 7). Собственный момент инерции скулового пояса в виде четверти окружности можно определить по формуле

$$i_c = 14,88s \cdot R^3,$$

где  $R$  – радиус скулы, м;  $s$  – толщина скулового листа, см.

Аппликата центра тяжести скулового листа от ОП определяется по формуле

$$z_{ск} = 0,293 \cdot R.$$

После заполнения первых семи граф табл. 7.1 суммируются площади сечения связей, статические моменты и моменты инерции (соответствующие суммы обозначены в таблице как  $A$ ,  $B$  и  $C$ ).

Далее определяются:

– отстояние нейтральной оси эквивалентного бруса от оси сравнения, м:

$$e = B/A;$$

– момент инерции сечения бруса относительно нейтральной оси:

$$I = 2 \cdot (C - B^2/A) = 2 \cdot (C - e \cdot B).$$

После нахождения положения нейтральной оси вычисляется расстояние от нее до центра тяжести каждой  $i$ -й связи и заполняется графа 8

табл. 7.1. При этом значения  $z_i$  вниз от нейтральной оси принимаются отрицательными.

Далее определяются фактические моменты сопротивления, см<sup>3</sup>:

$$W_b^{\text{факт}} = 100 \cdot I / z_b, \quad W_d^{\text{факт}} = 100 \cdot I / z_d,$$

где  $z_b$  и  $z_d$  – отстояния крайних связей (днища и палубы) от нейтральной оси, м.

Величина  $z_d$  отсчитывается от нейтральной оси до точки пересечения ширстрека с палубным стрингером. Для судов с надпалубными непрерывными продольными связями (например, непрерывные продольные комингсы, тронки и т.п.) величина  $z_d$  определяется по формуле

$$z_d = z_c \left( 0,9 + \frac{0,2y_c}{B} \right),$$

где  $z_c$  – отстояние верхней кромки надпалубной связи от нейтральной оси, м;  $y_c$  – горизонтальное отстояние ближней к борту точки верхней кромки надпалубной связи от ДП, м.

После определения моментов инерции и сопротивления сечения эквивалентного бруса проверяются условия (7.5) – (7.7). При невыполнении этих условий следует скорректировать размеры продольных связей, наиболее сильно влияющих на параметры эквивалентного бруса (например, на толщину настила ВП).

Далее вычисляются напряжения в продольных связях  $\sigma_i$  (графы 9, 10 табл. 7.1):

$$\sigma_i = 10 \frac{M \cdot z_i}{I},$$

где  $M$  – расчетный изгибающий момент, кН·м;  $z_i$  – отстояние  $i$ -й связи от нейтральной оси, м.

Расчетный изгибающий момент определяется для двух случаев:

– при перегибе судна на вершине волны (наибольший):

$$M = M_{sw} + M_w;$$

– при прогибе судна на подошве волны (наименьший):

$$M = M_{sw}^* + M_w^* + M_F.$$

## 7.5. Проверка устойчивости связей, испытывающих сжатие. Уточнение размеров связей

Проверке на устойчивость должны подвергаться все связи, испытывающие значительные сжимающие или сдвигающие нагрузки. Особенно это требование касается продольных непрерывных связей в средней части корпуса, наиболее удаленных от нейтральной оси поперечного сечения судна (связи ВП и днища), т.к. потеря их устойчивости может вызвать перелом всего корпуса судна.

Устойчивость продольной связи корпуса считается обеспеченной, если выполняются следующие условия:

$$|k\sigma_c| \leq \sigma_{кр}, \quad (7.8)$$

$$\tau_c \leq \tau_{кр},$$

где  $\sigma_c$  и  $\tau_c$  – соответственно сжимающие и касательные напряжения в связи, полученные из расчета эквивалентного бруса, Мпа;  $\sigma_{кр}$  и  $\tau_{кр}$  – критические напряжения;  $k = 1,1$  (для продольных балок основного набора),  $k = 1$  (для пластин и продольных балок рамного набора) (1.6.5.2-).

На устойчивость по касательным напряжениям\* в первую очередь проверяется обшивка борта в районе действия наибольшей перерезывающей силы (примерно на расстоянии четверти длины корпуса судна от перпендикуляров).

Критические напряжения вычисляются по следующим формулам (1.6.5.3):

$$\sigma_{кр} = \sigma_э \quad \text{при} \quad \sigma_э \leq R_{eH} / 2,$$

$$\sigma_{кр} = R_{eH} \left( 1 - \frac{R_{eH}}{4\sigma_э} \right) \quad \text{при} \quad \sigma_э > R_{eH} / 2,$$

$$\tau_{кр} = \tau_э \quad \text{при} \quad \tau_э \leq 0,29R_{eH},$$

$$\tau_{кр} = R_{eH} \left( 0,58 - 0,08 \frac{R_{eH}}{\tau_э} \right) \quad \text{при} \quad \tau_э > 0,29R_{eH},$$

где  $\sigma_э$ ,  $\tau_э$  – эйлеровы нормальные и касательные напряжения соответственно.

Эйлерово нормальное напряжение для пластины можно определить по формуле

---

\* В учебном проекте проверка устойчивости по касательным напряжениям обязательна только в том случае, если она определена в задании.

$$\sigma_y = 0,185 n (s'/b)^2,$$

где  $n = 4$  при сжатии вдоль длинной стороны пластины (при продольной системе набора),  $n = \varepsilon \cdot \left(\frac{a}{b} + \frac{b}{a}\right)^2$  при сжатии вдоль короткой стороны пластины (при поперечной системе набора);  $s'$  – толщина пластины, уменьшенная на коррозионный износ  $\Delta s$ , мм;  $a, b$  – размеры пластины соответственно вдоль и поперек сжатия, м;  $\varepsilon$  – коэффициент, учитывающий профиль подкрепляющих пластину балок основного набора.

Коэффициент  $\varepsilon$  принимает следующие значения:

- $\varepsilon = 1,05$  для пластины, подкрепленной балками полосового профиля;
- $\varepsilon = 1,1$  при подкреплении балками из полособульба;
- $\varepsilon = 1,21$  при подкреплении балками таврового или симметричного полособульбового профиля;
- $\varepsilon = 1,3$  для пластины, подкрепленной рамным набором (1.6.5.5-).

Эйлерово напряжение продольной устойчивости балки определяется в виде (1.6.5.4-)

$$\sigma_y = 206 \frac{i}{f l^2},$$

где  $i$  – момент инерции сечения с учетом присоединенного пояска и коррозионного износа, см<sup>4</sup>;  $f$  – площадь сечения с учетом присоединенного пояска и коррозионного износа, см<sup>2</sup>;  $l$  – пролет балки, м.

Для проверки боковой устойчивости балок следует использовать требование (1.6.5.4.2) Правил Регистра\*.

Для стенки рамной балки эйлерово напряжение определяется в виде

$$\sigma_y = 7,83 \cdot 10^5 \left(\frac{s}{h}\right)^2,$$

где  $s, h$  – соответственно толщина и высота стенки, мм.

Критические напряжения вычисляются для наиболее ответственных связей эквивалентного бруса (настил ВП, обшивка днища, продольные балки ВП и днища, ширстрек, верхний пояс обшивки продольной переборки, настил второго дна и т.п.). После занесения результатов в графу 11 табл. 7.1 критические напряжения сравниваются с абсолютными значениями сжимающих (отрицательных) напряжений. Если условия

---

\* В учебном проекте проверка боковой устойчивости в общем случае необязательна, но для некоторых связей может быть потребована преподавателем.

(7.8) не выполняются, следует изменить размеры сечений соответствующих связей или (и) сделать расчет эквивалентного бруса во втором приближении [2; 9; 16].

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

После выполнения всех расчетов выполняется построение конструктивного чертежа мидель-шпангоута, а затем – рабочего чертежа одной из секций (приложения 1, 2, 3). На этом этапе работ вам помогут учебники и справочники по судостроительному черчению, например [12; 17], а также рабочие альбомы типовых конструкций и узлов (у преподавателя).

Следует отметить, что от качества выполнения чертежных работ зависит не только оценка курсового проекта по конструкции судна, но и последующее курсовое проектирование по другим учебным дисциплинам, т.к. разработанные чертежи используются для постановки заданий по курсам строительной механики и прочности судов, а также технологии постройки судов.

При подготовке к защите курсового проекта рекомендуется обратить внимание на следующие требования:

- необходимо знать все термины, связанные с названиями элементов конструкций морских судов;
- необходимо иметь навыки пространственного мышления и уметь быстро (от руки, но аккуратно, с соблюдением пропорций, толщин линий и по правилам судостроительного черчения) выполнить любые эскизы, отражающие спроектированные вами конструкции. Для этого рекомендуется перед защитой проекта потренироваться в выполнении дополнительных разрезов и изображении узлов конструкций, не отраженных на чертежах.

Не обязательным в учебных проектах, но очень полезным является построение пространственных моделей спроектированных конструкций (блоков, секций или отдельных узлов). Модели могут быть выполнены из картона, пластика или других материалов. Еще более ценным является умение построения трехмерных моделей в системах САПР или компьютерного дизайна (AutoCAD, T-Flex, 3D Studio, NX и др.).



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алешин, Н. В. Методология инженерной и научной деятельности в морской технике: учеб. пособие / Н. В. Алешин, А. Г. Ляховицкий, Б. А. Царев. – СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 295 с.
2. Барабанов, Н. В. Конструкция корпуса морских судов : учеб. В 2 т. Т. 2. / Н. В. Барабанов, Г. П. Турмов. – СПб. : Судостроение, 2002. – 472 с.
3. Барабанов, Н. В. Особенности проектирования конструкций морских лесовозов / Н. В. Барабанов, Ю. Г. Рыбалкин. – Л. : Судостроение, 1986. – 175 с.
4. Барановский, М. Е. Суда для перевозки навалочных грузов / М. Е. Барановский. – Л. : Судостроение, 1967. – 256 с.
5. Васильев, А. Л. Вопросы проектирования конструкций корпуса судов. Системы набора перекрытий корпуса. Выбор шпации : учеб. пособие / А. Л. Васильев. – СПб. : Изд. центр СПбГМТУ, 2000. – 64 с.
6. Зайцев, В. В. Суда – газовозы / В. В. Зайцев, Ю. Н. Коробанов. – Л. : Судостроение, 1990. – 304 с.
7. Захаров, Б. Н. Суда для перевозки лесных грузов / Б. Н. Захаров. – Л. : Судостроение, 1988. – 206 с.
8. Каменский, Е. В. Траулеры и сейнеры / Е. В. Каменский, Г. Б. Терентьев. – Л. : Судостроение, 1978. – 216 с.
9. Короткин, Я. И. Прочность корабля / Я. И. Короткин, Д. М. Ростовцев, Н. Л. Сиверс. – Л. : Судостроение, 1974. – 432 с.
10. Крылов, А. Н. Мои воспоминания / А. Н. Крылов. – 8-е изд. – Л. : Судостроение, 1984. – 480 с.
11. Лазарев, В. Н. Проектирование конструкций судового корпуса и вопросы прочности судов : учеб. / В. Н. Лазарев, Н. В. Юношева. – Л. : Судостроение, 1989. – 320 с.
12. Никольский, Л. П. Читаем чертежи верфи: примеры – вопросы – ответы / Л. П. Никольский. – Л. : Судостроение, 1980. – 146 с.
13. Правила классификации и постройки морских судов / Российский морской регистр судоходства. – СПб. : РМРС, 2014. – Т. 1.
14. Родионов, Н. Н. Современные танкеры / Н. Н. Родионов. – Л. : Судостроение, 1980. – 277 с.
15. Симанович, А. М. Конструкция корпуса промысловых судов / А. М. Симанович, Б. А. Тристанов. – Л. : Судостроение, 1991. – 344 с.
16. Справочник по строительной механике корабля. В 3 т. Т. 3. / под ред. Ю. А. Шиманского. – Л. : Судпромгиз, 1960. – 800 с.
17. Справочник по судостроительному черчению / В. Г. Матвеев, В. Д. Борисенко [и др.]. – Л. : Судостроение, 1983. – 248 с.
18. Тарануха, Н. А. Безлюковые контейнеровозы / Н. А. Тарануха, А. Д. Бурменский. – Владивосток : Дальнаука, 2010. – 232 с.

19. Кулепов, В. Ф. Применение методов теории проектирования судов для разработки параметрического ряда плавающих ледорезных машин / В. Ф. Кулепов, Ю. А. Двойченко, А. Л. Малыгин // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре гос. техн. ун-та. Науки о природе и технике. – 2013. – № III-1(15). – С. 78-85.

## УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЧЕРТЕЖА КОНСТРУКТИВНОГО МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТА КОРПУСА СУДНА

Название «мидель-шпангоут» означает средний по длине судна шпангоут. Однако, в отличие от теоретического мидель-шпангоута, в конструктивных чертежах под словом «мидель-шпангоут» часто подразумевают несколько поперечных разрезов судна. Назначение таких разрезов – полностью показать конструкцию судна с учетом различного набора в разных поперечных разрезах.

Чертеж мидель-шпангоута выполняется с помощью средств САД (AutoCAD, T-Flex и др.) или карандашами на листе формата А1. Прежде чем начинать выполнение чертежа, следует выбрать масштаб и тщательно продумать вопрос о компоновке его видов, разрезов и текстовой информации. Пустые пространства на листе чертежа не должны занимать более 25 % его площади. Масштаб должен быть выбран из стандартного ряда: 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100; 1:150; 1:200; 1:250; 1:300; 1:400.

При компьютерном черчении необходимость масштабирования изображения возникает только при выводе чертежа на плоттер или принтер. Использование же масштабирования в электронном чертеже только усложняет работу с ним, т.к. требует пересчета размеров и усложняет постановку размеров. С учетом этого, а также тенденции к внедрению безбумажных технологий, рекомендуется компьютерные чертежи выполнять в натуральную величину. Подготовку чертежа для печати в системе AutoCAD можно выполнять в пространстве листа (PAPER), в котором формируются уменьшенные виды, а затем рамка, штамп и другие элементы оформления.

При выполнении чертежа вручную на ватмане вопрос выбора масштаба и компоновки наиболее важен, т.к. его неверное решение приведет к необходимости вычерчивания чертежа заново. Поэтому рекомендуется предварительно выполнить эскиз чертежа на черновом листе или хотя бы наметить его компоновку тонкими линиями на ватмане.

Часто на чертеже конструктивного мидель-шпангоута показывают два разных разреза слева и справа от ДП. Например, слева от ДП показывается разрез с видом на рамный шпангоут, рамный бимс и сплошной флор, а справа – разрез с видом на шпангоут основного набора (рис. П1.1). Таким образом используется симметрия большинства судов относительно ДП и экономится место на чертеже. Другой способ состоит в выполнении отдельных местных поперечных разрезов (рис. П1.2). Для сложных конструкций эти приемы могут комбинироваться.

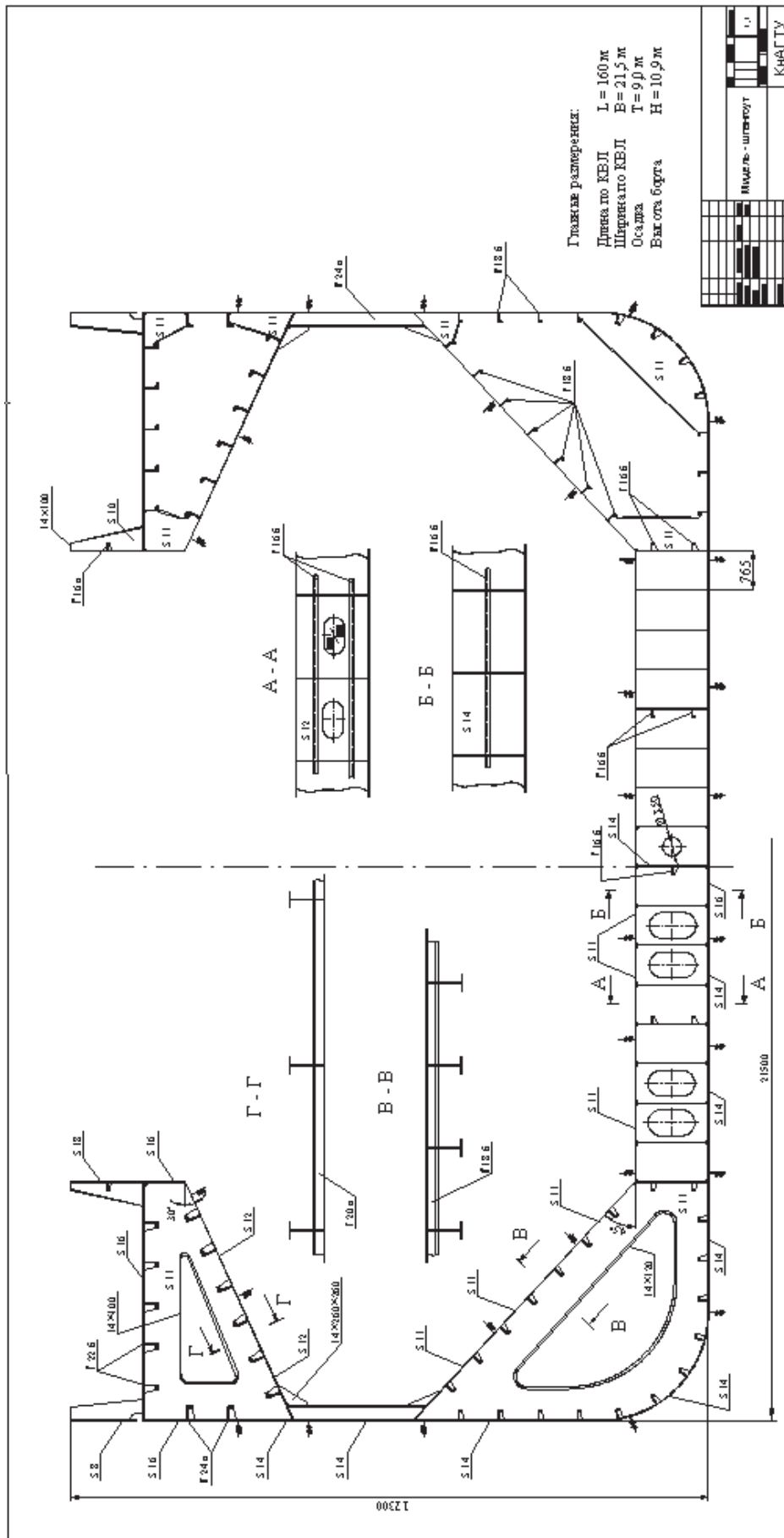


Рис. П.1.1. Пример компоновки чертежа мидель-шпангоута

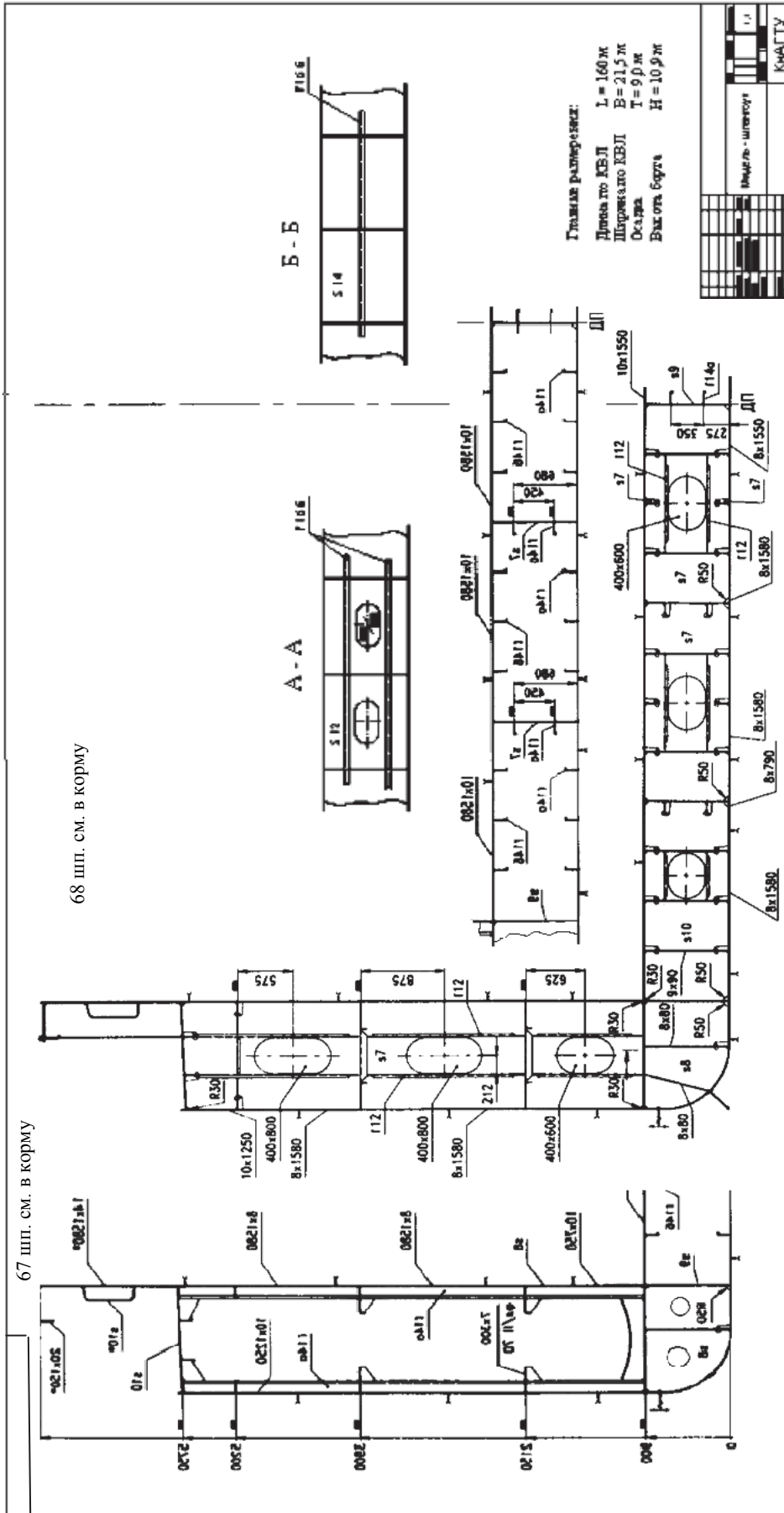


Рис. П1.2. Пример компоновки чертежа мидель-шпангоута

При компоновке вначале намечаются расположение и размеры основных видов, а затем – местных разрезов и видов. Изображение местных разрезов или видов должно располагаться как можно ближе к их размещению на основном виде.

Выполнение чертежа вручную начинается в тонких линиях. Обводка осуществляется после выверки всех ошибок. Компьютерный чертеж удобно сразу строить линиями соответствующей толщины.

В судостроительных конструктивных чертежах различают линии с тремя разновидностями толщин: основные линии (толщиной  $s$ ); тонкие линии (толщиной от  $s/2$  до  $s/3$ ); утолщенные линии (толщиной от  $2s$  до  $4s$ ).

В системе AutoCAD линии различной толщины можно вычертить командой PLINE (Полилиния). Команды LINE, CIRCLE можно использовать только для нанесения тонких линий (толщину таких линий в AutoCAD принято называть нулевой толщиной).

Если вы выполняете чертеж в натуральную величину, то толщины линий сечений принимайте равными реальным толщинам (утолщенные линии). Толщины всех теоретических линий (размерные линии, сноски, оси симметрии и т.п.) следует принимать наименьшими (нулевыми).

Толщины основных линий (образующих контур изображения, линии слома, грани) должны быть промежуточными. Здесь следует учесть, что в реальных конструкциях морских судов толщины листов редко бывают меньше 4...5 мм. С учетом этого толщины основных линий рекомендуется брать равными 1...3 мм.

После выбора масштаба и компоновки рекомендуется создавать элементы чертежа примерно в следующем порядке:

1) поперечное сечение наружной обшивки судна (толщиной от  $2s$  до  $4s$ );

2) сечения продольных листовых элементов (настилы нижних палуб, второго дна, платформ; обшивку продольных переборок, внутренних бортов; стрингеры, карлингсы, продольные комингсы люков, фальшборт) также утолщенной линией;

3) сечения продольных балок основного набора (толщиной от  $2s$  до  $4s$ ). В компьютерной модели катаные балки основного набора судна сложного профиля (полособульб, уголок) можно вычертить отдельно (на свободном месте чертежа или в другом чертеже). Затем профили можно оформить в виде блоков и вставить в соответствующие места чертежа. Вместо использования блоков можно применить копирование;

4) поперечные элементы прочерчиваются основными линиями (толщиной  $s$ ). На чертеже наносятся флор, шпангоуты, бимс, ребра жесткости, пояски балок, вырезы, кницы, бракетки и другие детали;

5) разрезы, сечения и узлы. Далее при необходимости выполняются укрупненные виды отдельных мелких и насыщенных элементов чертежа;

6) так как системы САПР позволяют быстро воспроизводить изображение с любым увеличением, то при аккуратном выполнении компьютерного чертежа отпадает необходимость в вычерчивании узлов и местных укрупненных видов, уже отраженных на основном виде;

7) конструкции, изображаемые в разрезах и сечениях, должны соответствовать действительному расположению на судне. Так, например, днище, палубы, платформы и т. п. изображают горизонтально, а переборки и борта – вертикально. Продольные разрезы ориентируют так, чтобы нос судна располагался справа (кроме вида изнутри на правый борт);

8) проставляются размеры, надписи, условные обозначения (табл. П1.1 – П1.3). Их следует размещать так, чтобы они не затеняли конструкцию и не мешали чтению чертежа;

9) вычерчивание рамки, штампов и других элементов оформления. В системе AutoCAD оформление чертежа рекомендуется выполнять в пространстве листа.

Таблица П1.1

Символы и допускаемые сокращения терминов на чертежах

Термин	Сокращение	Термин	Сокращение
Мидель-шпангоут		Палуба юта	П. юта
Диаметральная плоскость	ДП	Платформа	Платф.
Борт левый	ЛБ	Надстройка	Надстр.
Борт правый	Пр.Б	Наружная обшивка	НО
Ватерлиния	ВЛ	Киль вертикальный	ВК
Конструктивная ВЛ	КВЛ	Батокс первый	1Б
Основная плоскость	ОП	Второе дно	2 дно
Основная линия	ОЛ	Ребро жесткости	р. ж.
Базовая линия	баз. Л	Смотря в нос	см. в нос
Базовая плоскость	баз. п	Смотря в корму	см. в корму
Палуба бака	П. бака	Стрингер	стр.
Верхняя палуба	ВП	Фундамент	ф-т
Вторая палуба	П П	Цистерна	цист.
Главная палуба	Гл. П	Шпангоут	шп.
Палуба надстройки	П. надстр.	Легкий корпус	ЛК
Палуба рубки	П. руб.	Прочный корпус	ПК

В наименовании чертежа, состоящего из нескольких слов, на первом месте помещают имя существительное, например: «Секция днищевая в районе 121–154 шпангоутов». Все надписи выполняют строчным шрифтом согласно ГОСТ 2.304-81 «Шрифты чертежные». Шрифты для надписей и размеров, а также стрелки должны соответствовать по своим размерам масштабу чертежа.


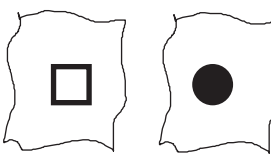






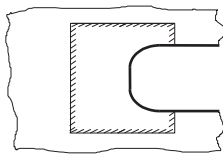


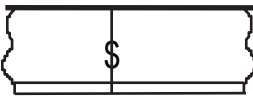
Чертеж в электронном виде следует распечатать на плоттере. При отсутствии плоттера допускается распечатать чертеж на принтере. При этом (если формат листов А3, А4) следует на одном листе распечатать весь чертеж, а на остальных листах – его фрагменты таким образом, чтобы все детали были подробно отражены, а линии и надписи – четко различимы.

Таблица П1.2

Условные графические обозначения

Наименование	Обозначение	Пример
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Лист	<i>S</i> толщина или толщина × ширина × длина	<i>s10</i> или <i>10 × 1200 × 4600</i>
Полоса	толщина × ширина	<i>8 × 200</i>
Полособульб несимметричный	номер профиля	<i>Г16а</i>
Полособульб симметричный	номер профиля	<i>Т825</i>
Тавровый профиль	<i>T</i> № профиля или $\perp$ с указанием размеров стенки над чертой и раз- меров полки под чертой	<i>T 326</i> $\perp \frac{10 \times 200}{12 \times 70}$
Швеллер	<i>[</i> номер профиля	<i>[ 24а</i>
Угольник равнобокий	<i>L</i> ширина полок × толщина	<i>L 50 × 50 × 5</i>
Угольник неравнобокий	<i>L</i> ширина полок × толщина	<i>L 75 × 50 × 5</i>
Труба	<i>O</i> наружный диаметр × толщина	<i>O 108 × 5</i>
Стержень круг- лого сечения	<i>O</i> диаметр	<i>O 50</i>
Рифленый лист или полоса	«Рифл.» перед обозначением	<i>Рифл. s5</i> или <i>рифл.</i> <i>5×800×4000</i>
Гофрированный лист	толщина × ширина × длина × высота гофр.	<i>4×1200×2000×60</i> <i>гофр.</i>








1	2		3
Диаметр заклепки	$d$		$d22$
Шаг заклепки или гужона	$t$ (указывается кратным диаметру или в миллиметрах)		$t 4.5d$ $t 80$
Заклепки	зак.		10 зак. $d19$
Гужоны	гуж.		22 гуж. $d25$
Расположение заклепок или гужонов (цепное, шахматное)	цепн.		2 ряда цепн.
	шахм.		3 ряда шахм.
Кница или бракета	указанием толщины или трех размеров		$s12$ или $12 \times 200 \times 200$
Кница или бракета с фланцем	то же с добавлением «фл.» и указанием ширины фланца		$s12$ фл.60 или $12 \times 200 \times 200$ фл.60
Кница или бракета с симметричным пояском	обозначаются в виде дроби: в числителе – размеры кницы; в знаменателе – толщина и ширина пояска		$\frac{4 \times 200 \times 200}{4 \times 40}$
Пиллерсы в плане	под палубой		
	на палубе		
	на палубе и под ней		
Монтажные стыки и пазы секций	в сечении листов:		
	в плане:		
Накладные листы	обозначаются штриховкой кромок		
Внутрисекционные стыки и пазы листов, изображенных в профиль			
Стыки профилей	$\$$		

Балки набора на чертежах в плане могут быть показаны двумя способами: обычным образом и в виде условных линий. Обозначение набора с видимой стороны в виде условных линий допускается при вычерчивании сложных конструкций, насыщенных большим количеством балок, тогда как при обычном изображении набора чертеж становится трудночитаемым.

Таблица П1.3

Обозначение балок набора и листовых элементов

Наименование	Условное изображение	Обычное изображение
<b>Основной набор:</b> <i>с видимой стороны</i>  <i>с невидимой стороны</i>	<i>тонкие линии:</i>  штрих-пунктирная линия   штриховая линия	полоса  полосоульб  тавр 
<b>Рамные балки:</b> <i>с видимой стороны</i>  <i>с невидимой стороны</i>	<i>утолщенные линии:</i>  штрих-пунктирная линия с двумя точками   штрих-пунктирная линия	  
<b>Листовые элементы</b> (обшивка, настилы, рамные связи двойного дна и двойных бортов): <i>с видимой стороны</i> (в сечении) <i>с невидимой стороны</i>	 утолщенная линия   утолщенная пунктирная линия	
<b>Гофры</b> (нанесены тонкой штрих-пунктир- ной линией вдоль оси гофров с нанесением сечения гофра)		
<b>Концы профилей            набора</b> (указываются стрелками)	 	

**УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОЧЕГО ЧЕРТЕЖА  
СЕКЦИИ КОРПУСА**

**Общие указания**

Рабочий чертеж секции выполняется с помощью средств САД (AutoCAD, T-Flex или др.) или карандашами на листе формата А1 или А2. Допускается выполнять чертеж секции на нескольких листах, при этом всем листам чертежа присваивают одно и то же обозначение и наименование.

Рабочий чертеж секции состоит из основного изображения – вида на секцию со стороны набора или обшивки (настила), разрезов по поперечному и продольному набору и выносных элементов (узлов). К чертежу отдельным документом прилагается спецификация, оформленная согласно ГОСТ 2.106-68 «Текстовые документы» (рис. ПЗ.4, ПЗ.5).

Конструкции, симметричные относительно ДП, вычерчивают только для одного борта с указанием того, что для другого борта конструкция симметрична.

**Теоретические линии корпуса**

Для всех конструкций и профилей теоретическая линия считается проходящей по стороне, ближайшей к диаметральной плоскости, мидельшпангоуту и основной линии за исключением (рис. П2.1.):

1) шахт, барабанов и комингсов люков, у которых теоретическая линия проходит по внутренней стороне листа. Толщина комингсов должна совмещаться с толщинами подпалубного набора;

2) закрытых профилей, у которых теоретическая линия представляет собой ось профиля.

У вертикальных связей, совпадающих с ДП, теоретическая линия проходит по середине толщины вертикального листа.

При совпадении практического миделя со шпангоутом теоретическая линия считается проходящей с кормовой стороны листа.

**Типоразмеры листовой горячекатаной стали  
и полособульбового профиля**

По табл. П2.1 можно выбрать ширину и длину листов для изготовления секций корпуса (ГОСТ 19903-74 «Прокат листовой горячекатаный», ГОСТ 5521-86 «Прокат стальной для судостроения. Технические условия»).

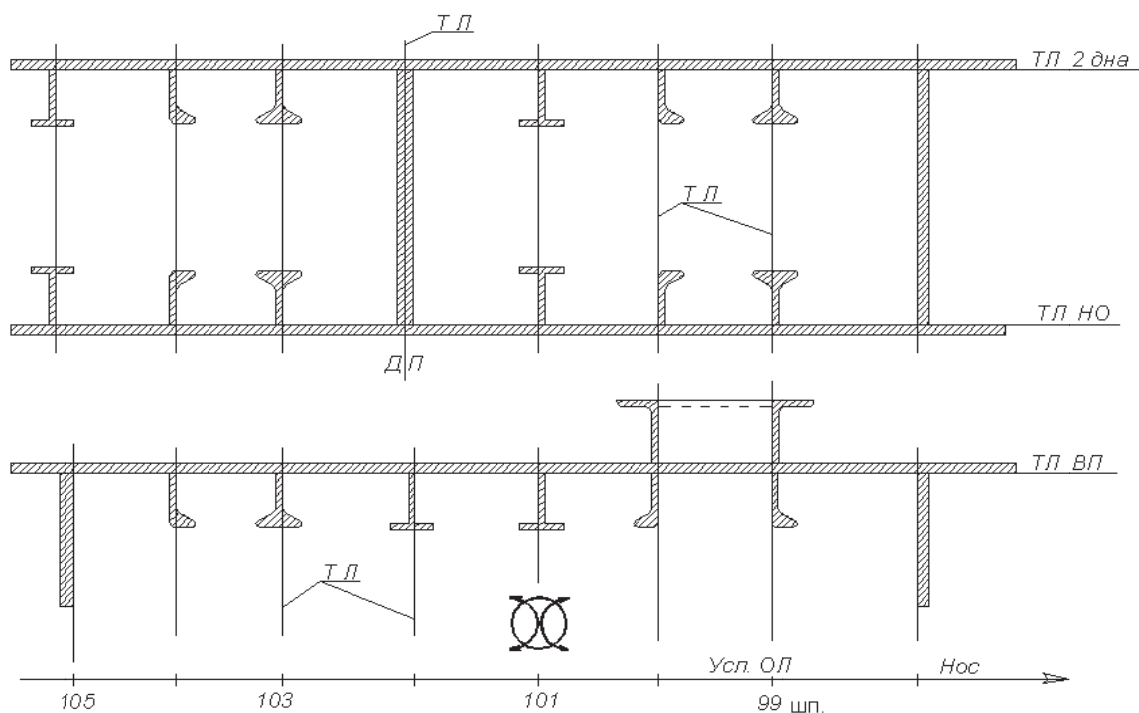


Рис. П2.1. Теоретические линии корпуса

Длина стандартного прокатного несимметричного полособульбового профиля колеблется в следующих пределах:

- для № 5, 6 – от 4 до 10 м;
- для № 7, 8, 9, 10, 11, 12 – от 4 до 12 м;
- для № 14...24 – от 4 до 20 м.

Длина стандартного симметричного полособульбового профиля колеблется в следующих пределах:

- для № 935...1035 – от 4 до 12 м;
- для № 1235...30812 – от 4 до 20 м.

### Оформление основного вида

Основное изображение (вид на секцию в плане) для бортовых секций вычерчивают в левом верхнем углу чертежа, а для днищевых и палубных секций – в левом нижнем углу чертежа. На чертеже наносятся все пазы и стыки.

Вычерчивание главного вида начинают с нанесения теоретических линий основных координатных плоскостей (ДП, усл. ДП, ОЛ, усл. ОЛ). Теоретические линии наносят сплошной тонкой линией. Нос судна на чертежах располагают справа (кроме вида изнутри на правый борт).

Вид на днищевую секцию без второго дна вычерчивают со стороны набора в виде плана или растяжки днищевой обшивки.

Днищевую секцию с двойным дном вычерчивают с видом на второе дно со стороны настила и с видом на днищевую обшивку сверху в виде плана или растяжки днищевой обшивки с помощью разреза поверхностью, параллельной днищевой обшивке выше балок основного набора днища и огибающей скуловой пояс. При этом вид на днищевую обшивку обычно показывают по одну сторону, а вид на настил второго дна – по другую сторону от ДП.

Таблица П2.1

Типоразмеры листовой стали

Толщина s, мм	Категория материала																										
	А, В, D, E					А32, D32, E32, А36, D36, E36				А40, E40																	
	Ширина листа, м																										
	1,4	1,6	2,0	2,4	3,2	1,6	2,0	2,4	3,2	1,6	2,0	2,4	3,2														
Длина листа, м																											
4	6	6				6				6																	
5																											
6							6					6															
7			6					6					6														
8		6	6	8	12	8	12	7	8	12	6	8	10	12													
9																											
10																											
11																											12
12																											14
13																											16
14																6	8	8	12	6	8		12	6			
15																		10	14	8			14	8			
16																8		12	16		7	8	16	8	6	8	12
17																					12						14
18																											
19																											
20																											
22						6																					
24					8																						
25													14														
26																											
28																											
30																											

Если днищевая секция совершенно симметрична относительно ДП, вид на днищевую обшивку и настил второго дна можно вычертить только для

одного борта с указанием того, что для другого борта конструкция симметрична. При этом следует придерживаться следующего правила: каждый лист обшивки днища и настила второго дна должен быть показан с видимой стороны (с учетом симметрии может быть показана часть листа). Чтобы это условие было выполнено, можно настил второго дна показать с линией обрыва по диагонали секции. За линией обрыва показывается вид на обшивку днища.

Вид на бортовую секцию вычерчивают либо со стороны обшивки, либо со стороны набора (изнутри).

Вид на палубную секцию вычерчивают со стороны настила.

Обозначение набора с видимой стороны в плане на обшивку или настил показано на рис. П2.2 (см. также табл. П1.3).

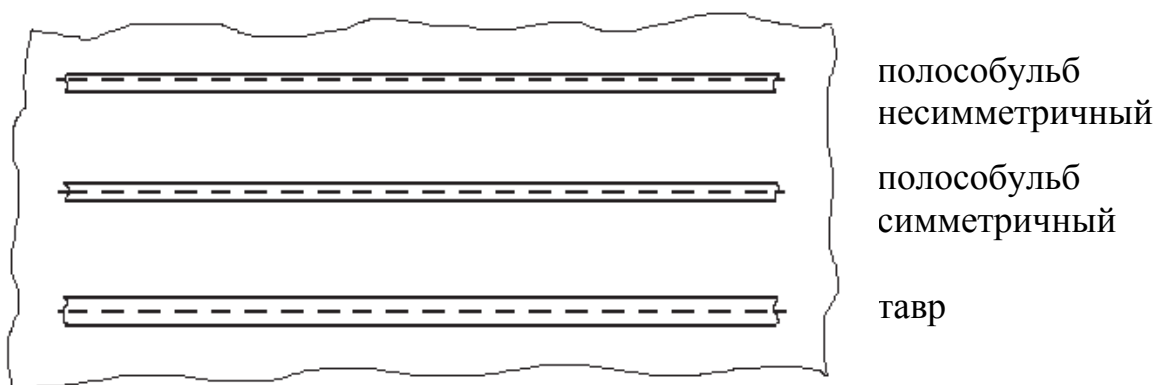


Рис. П2.2. Изображения набора на виде в плане

На линии ДП или усл. ДП (днищевых и палубных секций), ОЛ или усл. ОЛ (для бортовых секций) по поперечному набору проставляют номера шпангоутов. Нумеруются также и продольные балки: от ДП к бортам для днищевых и палубных секций; от ОЛ вверх для бортовых секций, например: 1 р.ж., 2 р.ж., и т.д. Обстановку (вспомогательные конструкции) или соседние секции, не изготавливаемые или не устанавливаемые по данному чертежу, изображают тонкими линиями.

### Оформление разрезов

Разрезы выполняют в том же масштабе, что и основное изображение, либо, чаще всего, в более крупном масштабе.

Конструкции, изображаемые в разрезах и сечениях, располагают ориентированно относительно основных координатных плоскостей соответственно действительному расположению на судне. Например, разрезы по поперечному и продольному набору днищевых и палубных секций должны располагаться на чертеже горизонтально. Разрезы по поперечному

набору бортовых секций (шпангоутам) должны располагаться вертикально, а по продольному набору – горизонтально.

Разрезы по поперечному набору обычно показывают справа от вида на секцию, а по продольному набору – снизу для бортовой секции и сверху для днищевой и палубной секций.

При однотипных конструкциях на чертеже изображают только одну из них с указанием о распространении этой конструкции на остальные, например:

*43 шп. См. в нос Пр.Б – симметрично  
Применить к 44, 45, 46, 47, 48 шп.*

Разрез с видом на ВК указывается как разрез при ДП. Разрезы по днищевому стрингеру, бортовому стрингеру, карлингсу, комингс-карлингсу, комингсу или продольной переборке обозначается как *А-А*, *Б-Б* и т.д. Иногда, если нумеруются стрингеры (днищевые – от ДП к бортам, бортовые – от ОП вверх), то указывается: разрез по 1-му или 2-му стрингеру.

В разрезах по набору показывают вырезы для пропуска балок главного направления, шпигаты для протока жидкостей и прохода воздуха, перемычки, срезы, обрезку незакрепленных концов балок и полок тавров.

Срезы 10x10 мм для прохода сварных швов завариваются и применяются для профилей высотой до 140 мм и книц с катетом до 150 мм включительно. Срезы 10x10 мм допускается на чертежах не вычерчивать и не обозначать. Срезы 30x30 мм для прохода сварных швов и обварки торцов применяют для профилей высотой свыше 140 мм и книц с катетом более 150 мм. Срезы 30x30 мм на чертежах вычерчивают, но их можно не обозначать. Срезы свыше 50x50 мм применяются как шпигаты, т.е. вычерчиваются и обозначаются. Для районов с повышенной вибрацией и при угле между соединенными балками более 90° рекомендуются срезы по дуге окружности радиусом 30, 50, 70 или 100 мм. Шпигат радиусом 100 мм при толщинах листов менее 7 мм не применяется.

### Оформление узлов

Узел (выносной элемент) – это дополнительное отдельное увеличенное изображение какой-либо части предмета, требующей графического и других пояснений в отношении формы, размеров и иных данных.

Узел располагают по возможности ближе к соответствующему месту на основном изображении.

При применении узла соответствующее место отмечают на виде, разрезе или сечении замкнутой сплошной тонкой линией – окружностью, овалом с обозначением арабской цифрой порядкового номера узла на полке

линии выноски или условным обозначением узла по рабочему альбому типовых конструкций.

У выносного элемента (узла) следует указывать цифру и масштаб по типу  $\frac{I}{M1:2}$ . При повторении одного и того же элемента на полке линии выноски пишут «Применить I». Если узел выполняется по рабочему альбому типовых конструкций и по каким-либо конструктивным соображениям узел или деталь рабочего альбома не представляется возможным использовать полностью, то в чертежах задаются изменяемые элементы узла или детали, а в условное обозначение добавляется слово «по типу», например: *по типу 211.1131-2*.

### Простановка размеров

Размеры, необходимые для сборки и установки конструкций, должны быть заданы от теоретических, базовых и контрольных линий или от конструктивных элементов корпуса. При этом размеры, определяющие положение отдельных предметов (конструкций), показывают размерными линиями, заканчивающимися на поверхности тех элементов корпусных конструкций, теоретические линии которых расположены со стороны координируемого предмета (конструкции).

Координаты установки задаются к миделю судна, как показано на рис. П2.3.

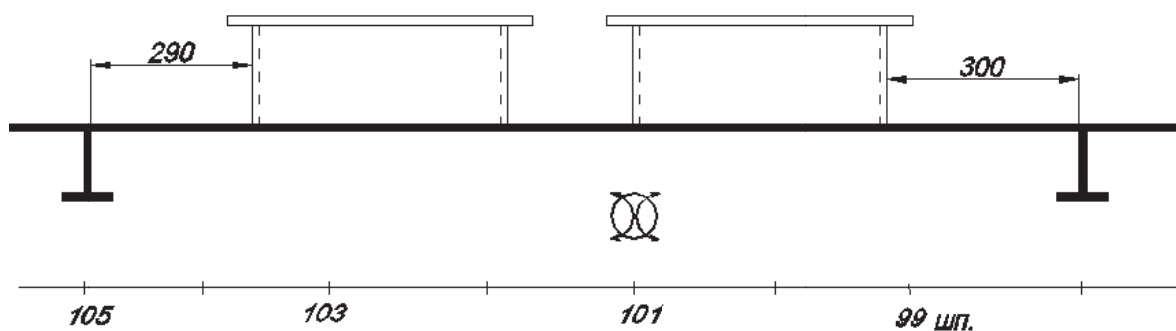


Рис. П2.3. Простановка координат изделия

Плазовые размеры (расстояние до палуб, стрингеров и т.п.) на рабочих чертежах не проставляют.

Не допускается наносить размеры на чертежах в виде замкнутой цепи. Разрешается простановка размерных линий цепочкой только с условным обозначением равных расстояний при необходимости установки деталей между двумя корпусными конструкциями, размер между которыми не может быть определен без плаза или места.



В случае необходимости уточнения размера на судне допускается проставлять отдельные размеры с оговоркой «Уточнить по месту». Размеры, которые являются ориентировочными, обозначают знаком «≈».

Не допускается повторять размеры одного и того же элемента на разных изображениях. Если для написания размерного числа недостаточно места над размерной линией, то размеры наносят, как показано на рис. П2.4, а. Если недостаточно места для нанесения стрелок, то их можно наносить, как показано на рис. П2.4, б.

Способ нанесения размерного числа при различных положениях размерной линии (стрелок) на чертеже определяется наибольшим удобством чтения.

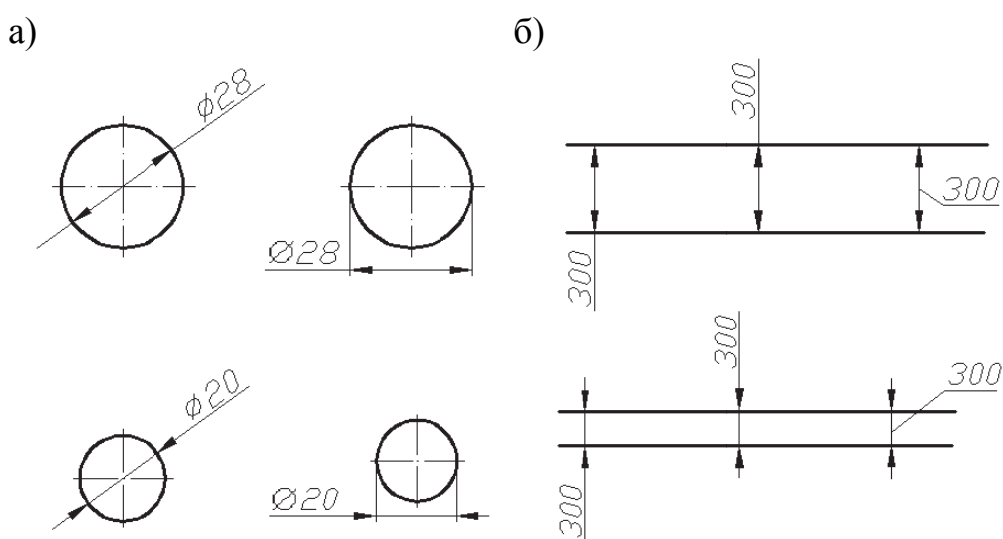


Рис. П2.4. Простановка размеров:

а – с выносом размерного текста; б – с выносом стрелок

Размерные числа не допускается разделять или пересекать какими бы то ни было линиями чертежа. Не допускается разрывать линию контура для нанесения размерного числа и наносить размерные числа в местах пересечения осевых или центровых линий.

В местах нанесения размерного числа осевые, центровые линии и линии штриховки прерывают. Размеры, относящиеся к одному и тому же конструктивному элементу, рекомендуется группировать в одном месте, располагая их на том изображении, на котором геометрическая форма данного элемента показана наиболее полно.

Значительная часть размеров на судостроительных чертежах задается без применения размерных линий непосредственно на изображениях деталей на полках, проводимых от кружков позиций деталей, например для

листов, книц, бракет и профилей с простановкой их условных обозначений, как показано на рис. П2.5.

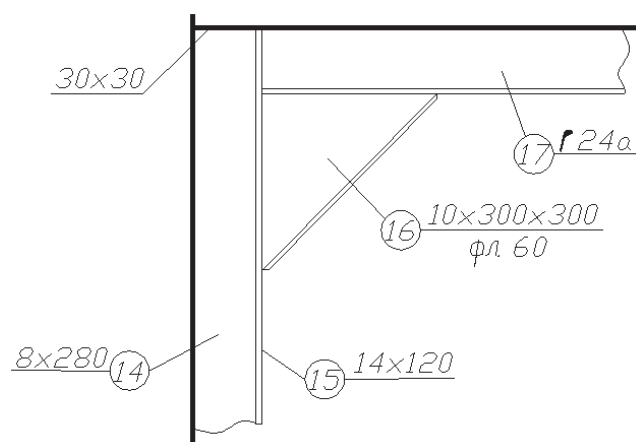


Рис. П2.5. Простановка размеров без применения размерных линий

Номер детали в кружке указывают один раз на главном виде на данную деталь. **Выносные линии с номерами позиций деталей не должны указывать на сечения деталей.**

### Обозначения и изображения сварных швов

Условные обозначения и изображения швов сварных соединений выполняют по ГОСТ 2.312-72 «Условные изображения и обозначения швов сварных соединений». Шов сварного соединения (независимо от способа сварки) условно изображают следующим образом:

- 1) видимый – сплошной основной линией;
- 2) невидимый (под накладной планкой) – штриховой линией, как показано на рис. П2.6;
- 3) видимую одиночную сварную точку независимо от способа сварки условно изображают знаком «+».

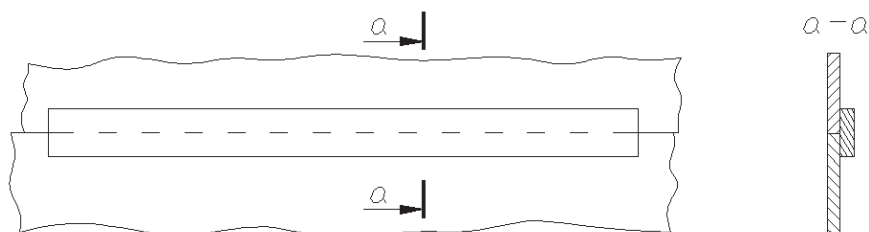
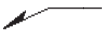


Рис. П2.6. Сварной шов под накладной планкой

От изображения шва или одиночной точки проводят линию-выноску, заканчивающуюся односторонней стрелкой: .

Нестандартный шов изображают в виде выносного элемента с указанием размеров конструктивных элементов, необходимых для выполнения шва по данному чертежу. На чертежах индивидуального производства допускается указывать данные о подготовке кромок под сварку стандартного шва непосредственно на изображении соединения в виде выносного элемента.

Обозначение сварки в чертежах указывается минимальное число раз. При наличии на чертеже одинаковых швов условное обозначение наносят у одного из изображений с присвоением порядкового номера шва. На остальных изображениях таких же швов наносят порядковый номер на полке линии выноски (см. рис. ПЗ.1 – ПЗ.3).

Условное обозначение шва наносят:

- 1) над полкой выноски, проведенной от линии шва с лицевой стороны;
- 2) под полкой выноски, проведенной от линии шва с оборотной стороны.

За лицевую сторону одностороннего шва сварного соединения принимают сторону, с которой производят сварку. За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с несимметрично подготовленными кромками принимают сторону, с которой производят сварку основного шва (рис. П2.7).

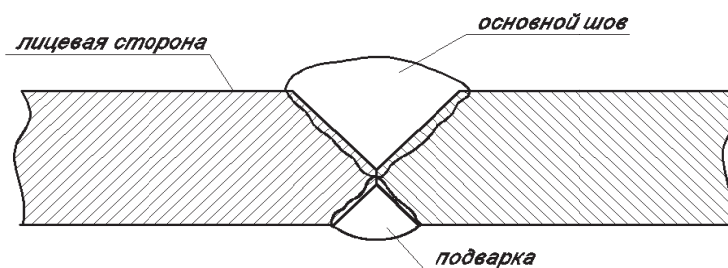


Рис. П2.7. Сварной шов с несимметрично подготовленными кромками

За лицевую сторону двустороннего шва сварного соединения с симметрично подготовленными кромками может быть принята любая сторона.

Типы и конструктивные элементы шва сварного соединения, а также их условные обозначения указаны в следующих стандартах:

- 1) ГОСТ 5264-80 «Ручная электродуговая сварка»;
- 2) ГОСТ 8713-79 «Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом»;
- 3) ГОСТ 18482-79 «Автоматическая и полуавтоматическая сварка под флюсом, под острым и тупым углами»;

- 4) ГОСТ 14771-76 «Электродуговая сварка в защитных газах»;
- 5) ГОСТ 15164-78 «Электрошлаковая сварка»;
- 6) ГОСТ 15878-79 «Контактная сварка»;
- 7) ГОСТ 14776-79 «Электрозаклепочные соединения»;
- 8) ГОСТ 14806-80 «Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов».

При стыковой сварке листов неодинаковой толщины на листе, имеющем большую толщину, должен быть сделан скос с одной стороны листа длиной  $l = 5 \cdot (s_1 - s)$ , как указано на рис. П2.8.

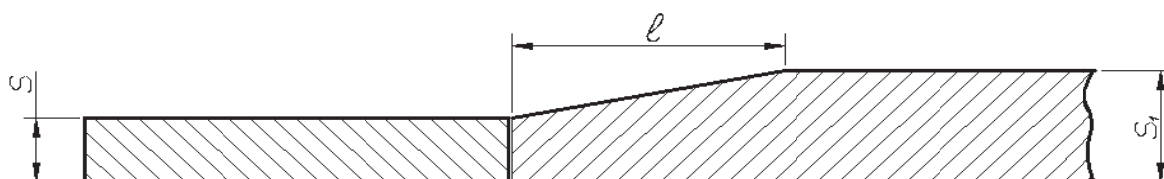


Рис. П2.8. Скос листа

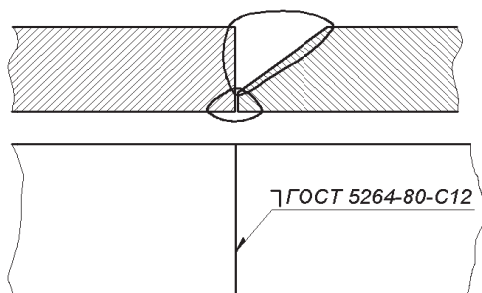
Допускается скос не делать при малой разнице в толщинах (не более, чем указано в табл. П2.2).

Таблица П2.2

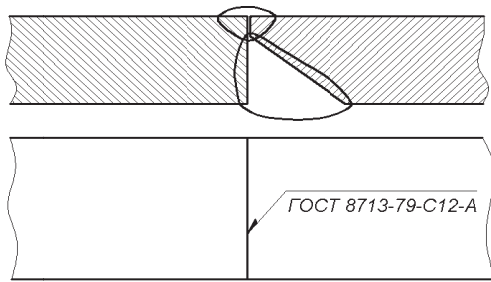
Допускаемая разность толщин без скоса кромок

Автоматическая сварка		Ручная сварка	
$s$ , мм	разность толщин, мм	$s$ , мм	разность толщин, мм
4...30	2	4...8	$0,6s$
32...40	4	9...11	$0,4s$
> 40	6	12...24	5
		> 26	7

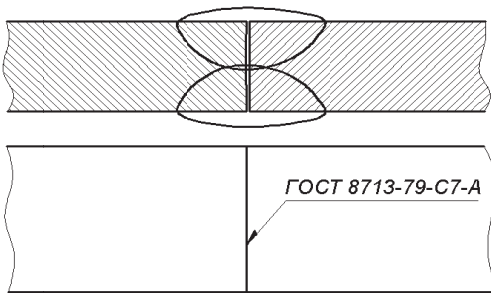
Примеры обозначения стандартных швов сварных соединений



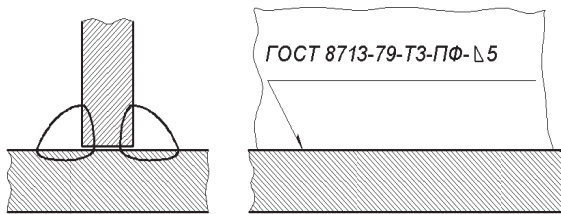
Шов стыковой с прямолинейным скосом одной кромки, двухсторонний, выполняемый ручной сваркой при монтаже изделия. Шов обозначен с лицевой стороны.



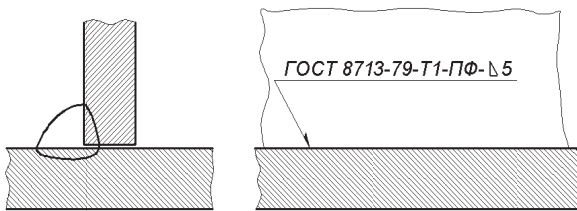
Шов стыковой с прямолинейным скосом одной кромки, двухсторонний, автоматический. Шов обозначен с оборотной стороны.



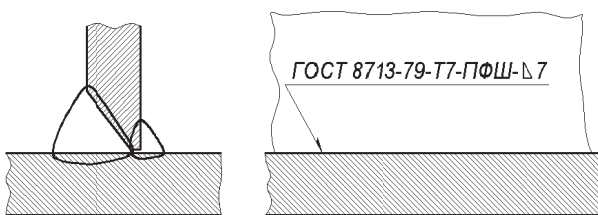
Шов стыковой без разделки кромок, двухсторонний, автоматический. Лицевая сторона любая. Допускается при сварке листов толщиной до 18 мм, а при ручной сварке – до 6 мм.



Шов таврового соединения без скоса кромок, двухсторонний, выполняемый полуавтоматом. Катет шва – 5 мм.



Шов таврового соединения без скоса кромок, односторонний, полуавтоматический. Катет шва – 5 мм.



Шов таврового соединения с прямолинейным скосом одной кромки, двухсторонний, полуавтоматический. Катет подварки – 7 мм.

# ПРИМЕРЫ РАБОЧИХ

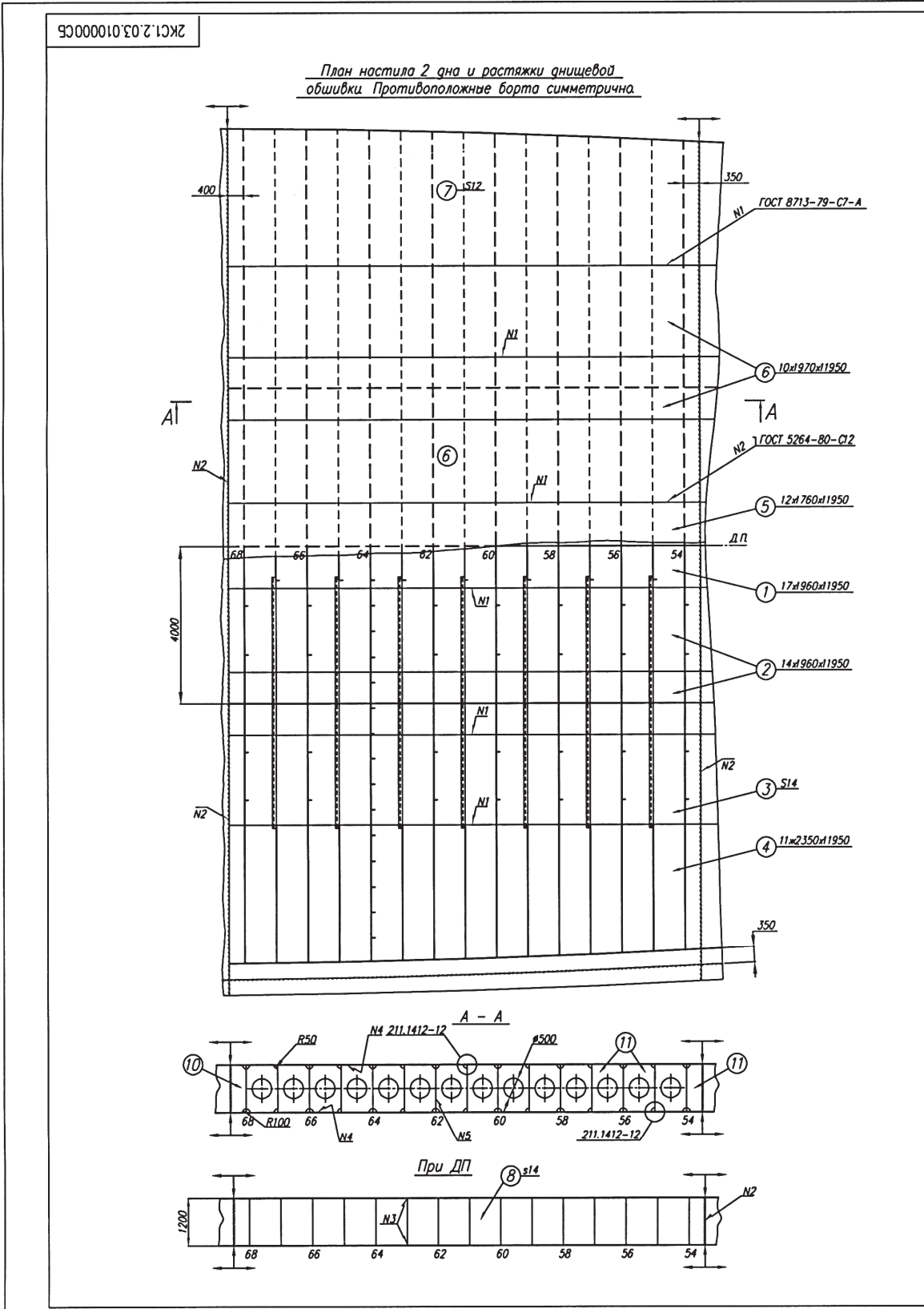
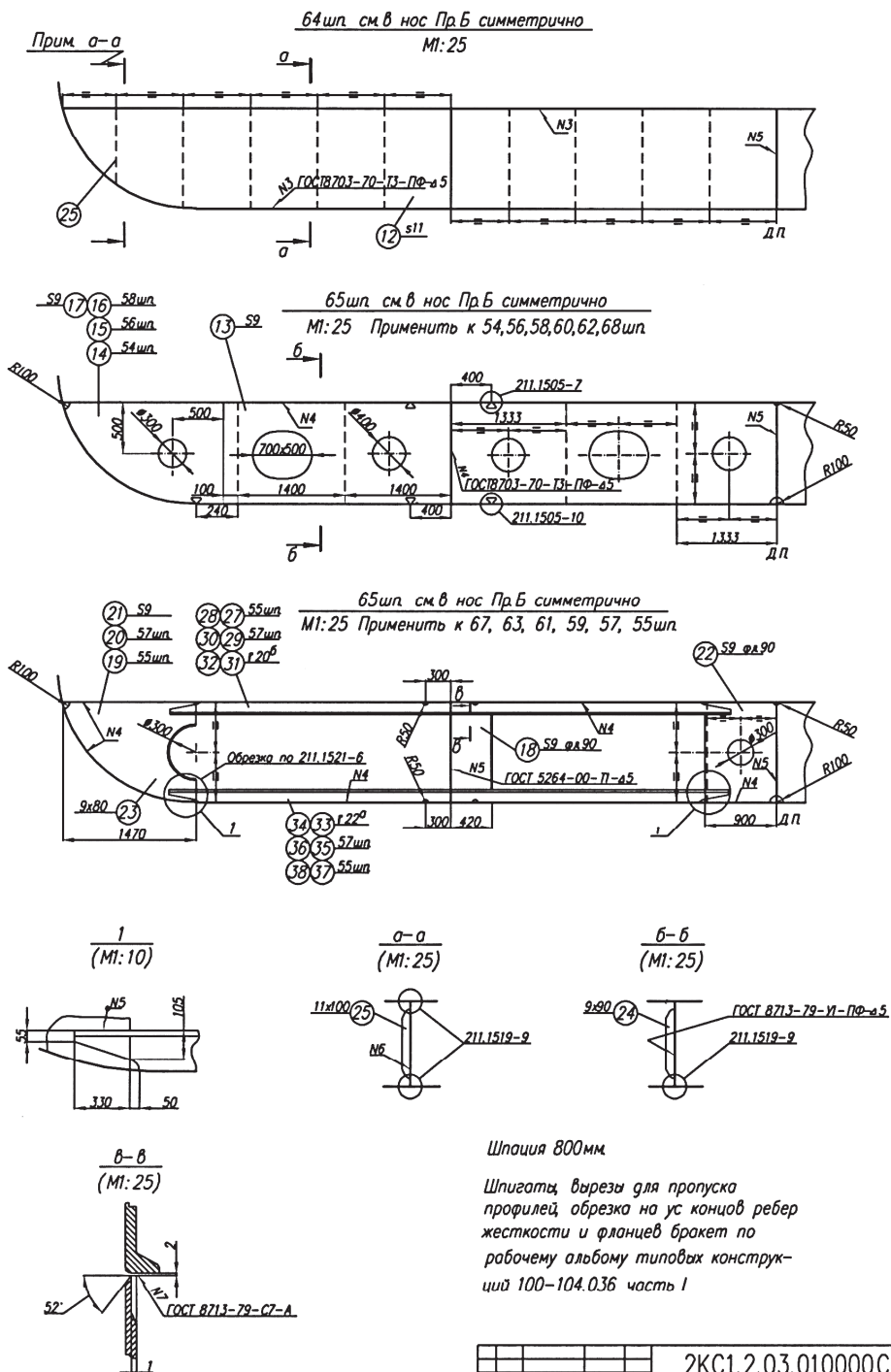


Рис. ПЗ.1. Сборочный чертеж

ЧЕРТЕЖЕЙ



Р.ж (дет 24, 25) д б у концов приварены двухсторонним швом на длине равной двум высотам р.ж калибром равным основному шву.

2КС1.2.03.010000СБ				Лист	Масса	Масштаб	
Мен	Лист	№ докум	Получил	Дата	1:50		
Разработ						Лист	Листов 1
Проектиров							
Технический							
Н.инженер							
Инж.							
Кафедра КС							

днищевой секции

Растяжка бортовой обшивки

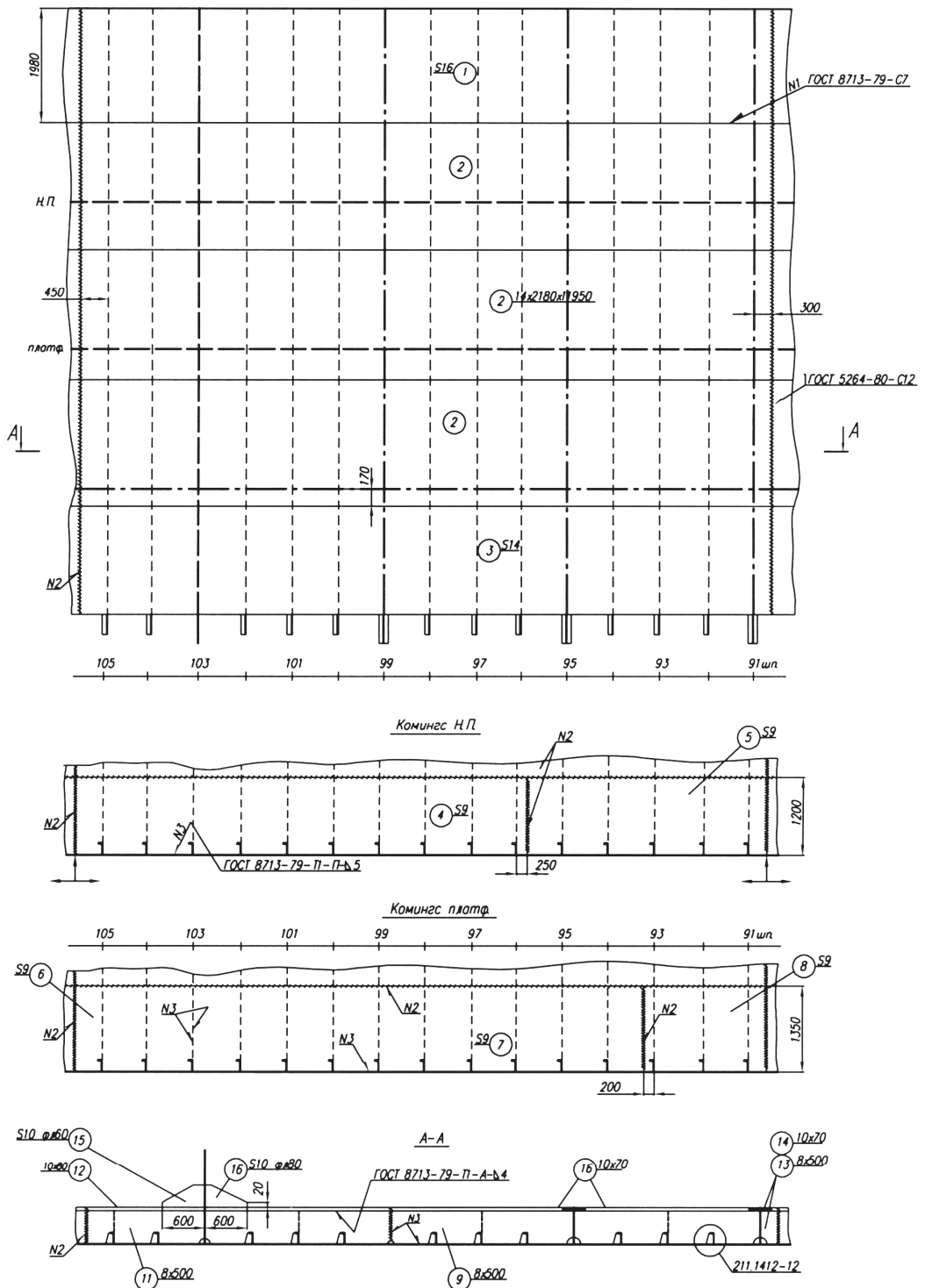


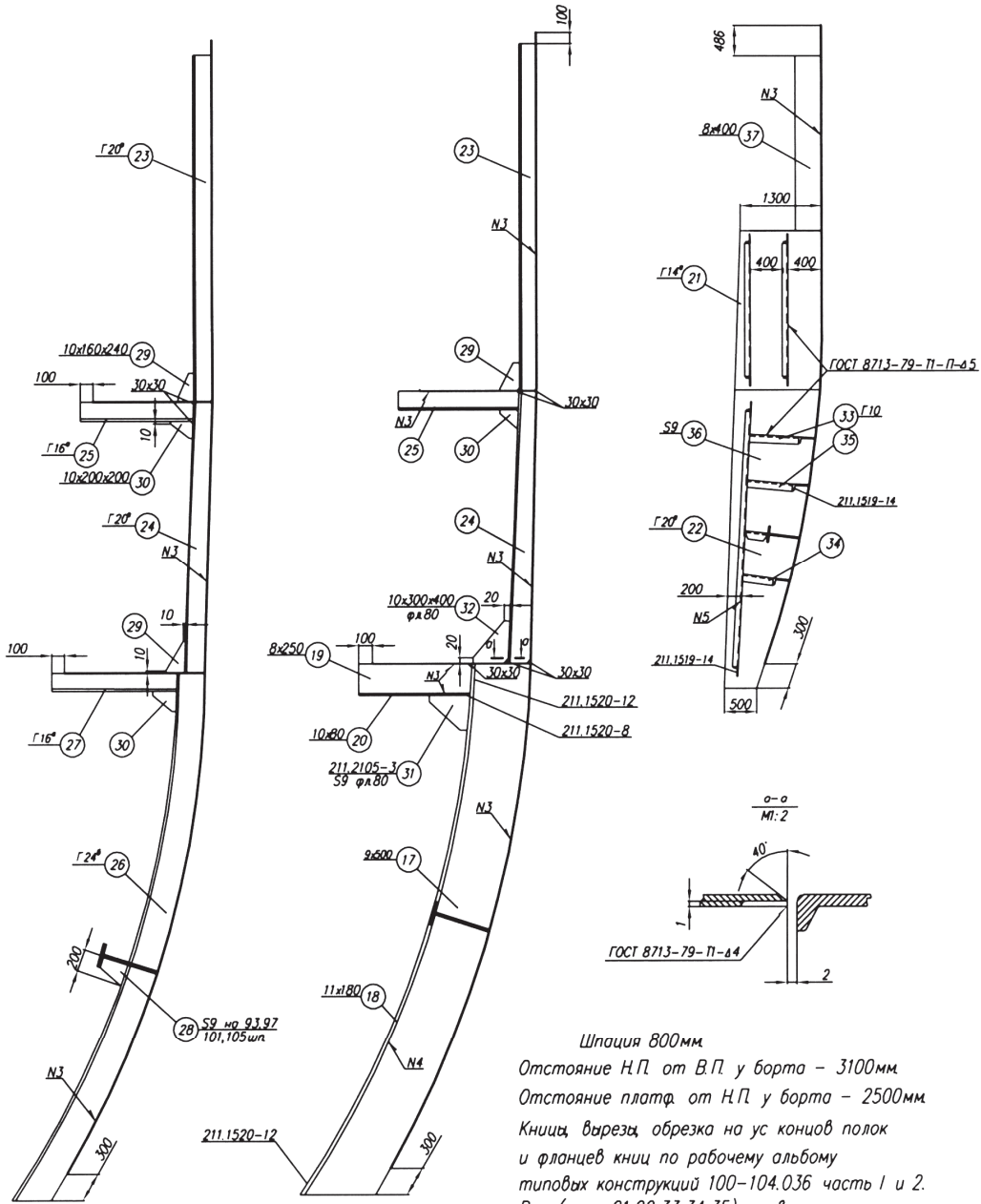
Рис. ПЗ.2. Сборочный чертеж



101 шп. см. в нос  
Применить к 92,93,94,96,97,98,100,101,102 шп.  
М1:25

99 шп. см. в нос  
Применить к 95,91 шп.  
М1:25

103 шп. см. в нос  
М1:50



Шпация 800мм  
Отстояние Н.П. от В.П. у борта - 3100мм  
Отстояние платф. от Н.П. у борта - 2500мм  
Кницы, вырезы, обрезка на ус кониов полок  
и фланцев книц по рабочему альбому  
типовых конструкций 100-104.036 часть 1 и 2.  
Р.ж. (дет. 21,22,33,34,35) приваренные  
односторонним швом д.б. у кониов приварены  
двухсторонним швом калибром, равным основному  
шву на длине равной двум высотам р.ж.

					2КС1.2.03.0000СБ		
Изм.	Лист	И. разраб.	Получено	Дата	Лист	Масса	Масштаб
							1:50
Секция бортовой в районе 91 - 105 шп.					Лист 1		
					Кафедра КС		
					Копировал		
					Формат А3		

бортовой секции

2КС1.2.03.0000СБ

Настил палубы

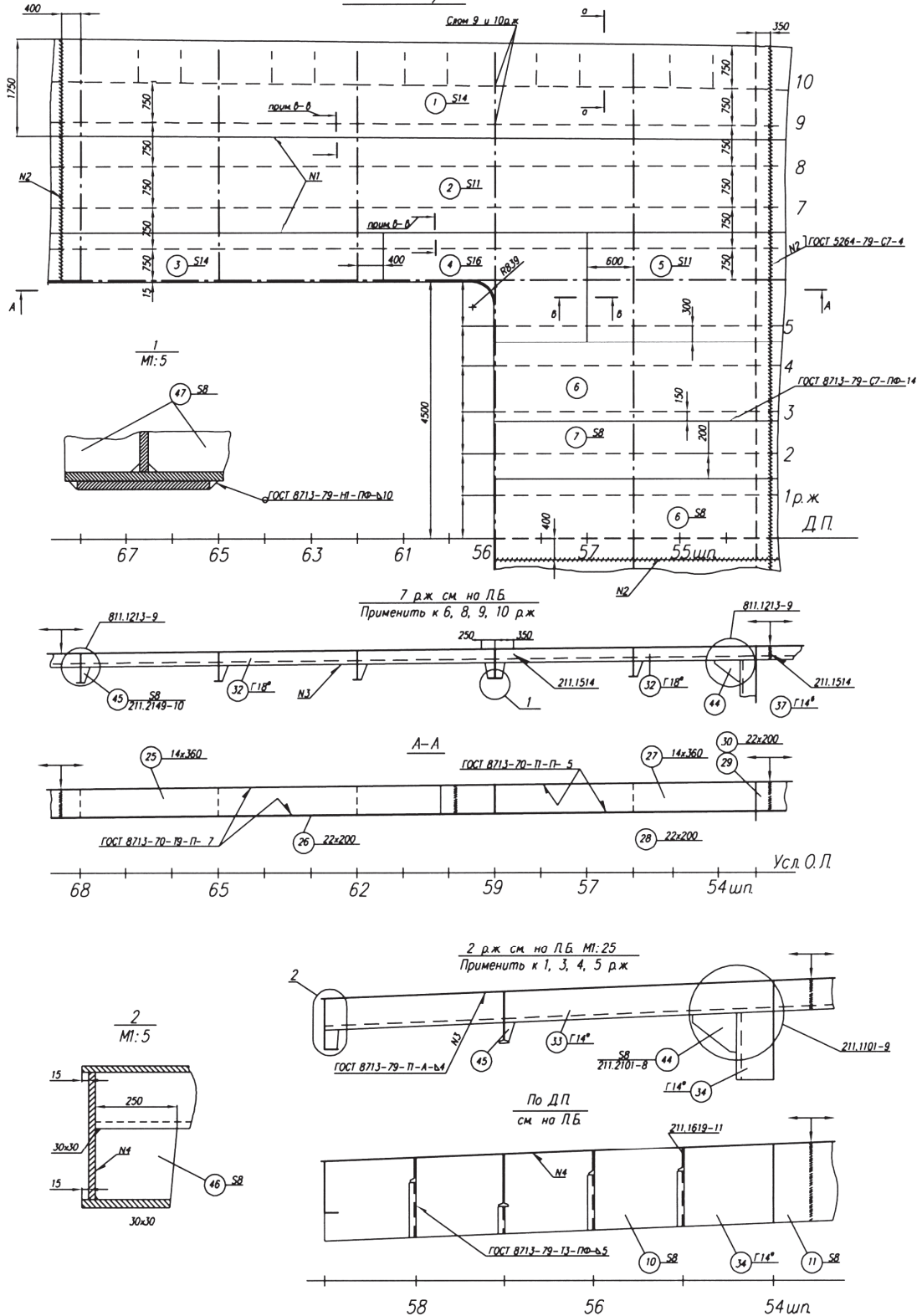
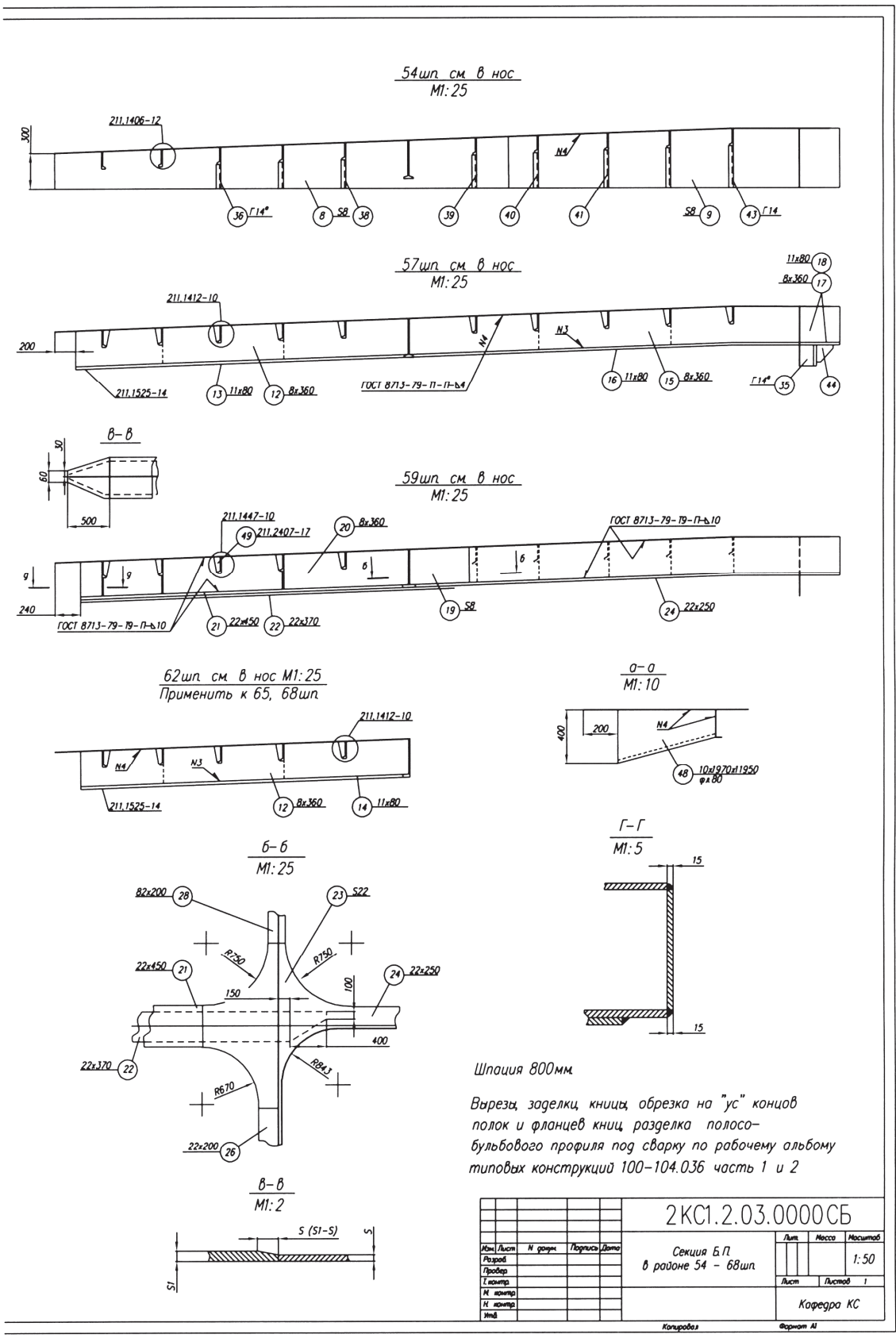


Рис. ПЗ.3. Сборочный чертёж



2КС1.2.03.0000СБ				Лист	Масса	Носитель
Секция Б.П. в районе 54 - 68 шп				Лист	Масса	Носитель
Изм.	Лист	И. дата	Порядок	Лист	Лист	1
Разработ						
Проектир						
Инженер						
Инженер						
Удобр						
Копировать				Формат А1		

палубной секции

Позиция	Обозначение	Наименование	Кол-во	Масса, кг		Марка материала	Примечание
				Единицы	Общая		
1		Горизонтальный киль 17x1980x11950	1	3160	3160		
2		Лист обшивки 14x1980x11950	4	2600	10400		
3		Лист обшивки 14x1980x11950	2	2955	5910		
4		Скуловой лист 14x2350x11950	2	3086	6172		один П.Б. второй Л.Б.
5		Лист настила 12x1780x11950	1	2005	2005		
6		Лист настила 10x1970x11950	6	1848	11088		
7		Лист настила 12x1500x1800x11950	2	1970	3940		
8		Вертикальный киль 14x1200x11950	1	1578	1578		
9		Бракета стрингера 9x1200x1590	14	107	1498		
10		Бракета стрингера 9x1200x400	2	3,4	6,8		
11		Бракета стрингера 9x1200x350	2	2,9	5,8		
12		Лист флора 11x1200	2	835	1670		
13		Лист флора 9x1200x6900	14	416	5824		
14		Лист флора на 54шп. S9	2	89	178		
15		Лист флора на 56шп. S9	2	89,5	179		
16		Лист флора на 58шп. S9	2	90	180		
17		Лист флора на 60,62,66,68шп. S9	8	90	720		
18		Бракета 9x420x780 фл.90	14	43	602		
19		Бракета на 55шп. S9	2	84	168		
20		Бракета на 57шп. S9	2	84	168		
21		Бракета на 59,61,63,65,67шп. S9	10	84	840		
22		Бракета 9x900x1200 фл.90	14	76,3	1068		7-П.Б. 7-Л.Б.
23		Поясок 9x80	14	6,2	87		
24		Ребро жесткости 9x90x1180	56	6,2	347		
25		Ребро жесткости 11x100 x1180	16	9	144		
8	20	75	10	12	16	22	22
20		185			5		

8x15=40	7	10	23	15	10	2КС1.2.03.010000СБ 50		
	Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
	Разр.					Лит.	Лист	Листов
	Провер.						1	2
	Т.контр.					5,55 15		
	Н.контр.					Кафедра КС		
Утв.								

Секция днищевая  
в районе 54 - 68шп.

Рис. ПЗ.4. Спецификация к сборочному чертежу (лист первый)



**КЛАСС СУДОВ ПО РАЙОНУ ПЛАВАНИЯ**

Символ класса	Характеристика ограничений
R1	Плавание в морских районах на волнении с высотой волны 3%-й обеспеченности 8,5 м, с удалением от места убежища не более 200 миль и с допустимым расстоянием между местами убежища не более 400 миль.
R2	Плавание в морских районах на волнении с высотой волны 3%-й обеспеченности 7,0 м, с удалением от места убежища не более 100 миль и с допустимым расстоянием между местами убежища не более 200 миль.
R2-RSN	Смешанное (река-море) плавание на волнении с высотой волны 3%-й обеспеченности 6,0 м, с удалением от места убежища: – в открытых морях не более 50 миль и с допустимым расстоянием между местами убежища не более 100 миль; – в закрытых морях не более 100 миль и с допустимым расстоянием между местами убежища не более 200 миль.
R2-RSN(4.5)	Смешанное (река-море) плавание на волнении с высотой волны 3%-й обеспеченности 4,5 м, с удалением от места убежища: – в открытых морях не более 50 миль и с допустимым расстоянием между местами убежища не более 100 миль; – в закрытых морях не более 100 миль и с допустимым расстоянием между местами убежища не более 200 миль.
R3-RSN	Смешанное (река-море) плавание на волнении с высотой волны 3%-й обеспеченности 3,5 м, с учетом конкретных ограничений по району и условиям плавания, обусловленных ветро-волновыми режимами бассейнов, с установлением при этом максимально допустимого удаления от места убежища, которое не должно превышать 50 миль.
R3	Портовое, рейдовое и прибрежное плавание в границах, установленных Регистром в каждом конкретном случае.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### КАТЕГОРИИ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

Суда ледового плавания – это суда, предназначенные для самостоятельного плавания во льдах, включающего движение в разводьях между льдинами, преодоление стыков ледяных полей и участков относительно тонких сплошных льдов, или плавания во льдах под проводкой ледокола.

Если самоходное судно ледового плавания отвечает соответствующим требованиям Правил, к основному символу класса добавляется один из знаков категорий ледовых усилений: **Ice1, Ice2, Ice3, Arc4, Arc5, Arc6, Arc7, Arc8, Arc9**. Районы эксплуатации судов в российских арктических морях приведены в табл. П5.1.

Таблица П5.1

Районы эксплуатации судов в российских арктических морях

Категория ледовых усилений	Способ ледового плавания	Зимне-весенняя навигация в морях					Летне-осенняя навигация в морях				
		Баренцевом	Карском	Лаптевых	Восточно-Сибирском	Чукотском	Баренцевом	Карском	Лаптевых	Восточно-Сибирском	Чукотском
		ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ	ЭТСЛ
Arc4	СП	----+	-----	-----	-----	-----	+++++	---++	----+	----+	---++
	ПЛ	-*++	----+	-----	-----	---*	+++++	*+++	---++	--++	-*++
Arc5	СП	--++	---+	---+	---	---	+++++	-+++	---+	--++	---++
	ПЛ	*+++	--*+	---+	---+	---*+	+++++	*+++	*+++	*+++	*+++
Arc6	СП	*+++	---+	---+	---+	---+	+++++	+++++	-+++	-+++	-+++
	ПЛ	+++++	**++	-**+	-**+	-*++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Arc7	СП	+++++	--++	---+	---+	---++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
	ПЛ	+++++	+++++	*+++	*+++	*+++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Arc8	СП	+++++	+++++	-*++	-*++	*+++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
	ПЛ	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
Arc9	СП	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++
	ПЛ	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++	+++++

Примечание. В таблице используются следующие условные обозначения:  
 СП – самостоятельное плавание;  
 ПЛ – плавание под проводкой ледокола;  
 «+» – эксплуатация допускается;  
 «-» – эксплуатация не допускается;  
 «\*» – эксплуатация связана с повышенным риском получения повреждений;  
 Э – экстремальная навигация (со средней повторяемостью один раз в 10 лет);  
 Т, С, Л – тяжелая, средняя, легкая навигация (со средней повторяемостью раз в 3 года).

Категории **Ice1, Ice2, Ice3**, образующие группу неарктических категорий, распространяются на суда, предназначенные только для плавания в замерзающих неарктических морях (неарктические суда).

Категории **Arc4, Arc5, Arc6, Arc7, Arc8, Arc9**, образующие группу арктических категорий, распространяются на суда, предназначенные для плавания в арктических морях (арктические суда).

При выборе ледовой категории арктических судов рекомендуется использовать усредненную количественную информацию о допускаемых районах эксплуатации и условиях ледового плавания, представленную в табл. П5.1, П5.2, а при выборе ледовых усилений неарктических судов – данные о допустимых условиях ледового плавания, представленные в табл. П5.3.

Таблица П5.2

Предельные условия плавания под проводкой ледокола  
для арктических судов

Категория судна	Допустимый тип и толщина льда	
	Зимне-весенняя навигация	Летне-осенняя навигация
Arc4	Тонкий однолетний (менее 0,7 м)	Средний однолетний до 0,9 м
Arc5	Средний однолетний до 0,8 м	Средний однолетний (0,7...1,2 м)
Arc6	Средний однолетний (0,7...1,2 м)	Толстый однолетний до 1,5 м
Arc7	Толстый однолетний до 1,8 м	Двухлетний (более 2,0 м)
Arc8	Многолетний до 3,4 м	Многолетний (более 3,0 м)
Arc9	Многолетний (более 3,0 м)	Многолетний (более 3,0 м)

Таблица П5.3

Допустимые условия ледового плавания для неарктических судов

Категория судна	Допустимая толщина льда, м		Характер эксплуатации
	Самостоятельное плавание в мелкобитом льду со скоростью 5 уз	Плавание в канале за ледоколом в сплошном льду со скоростью 3 уз	
Ice1	0,40	0,35	Эпизодически
Ice2	0,55	0,50	Регулярно
Ice3	0,70	0,65	Регулярно



## ПРИЛОЖЕНИЕ 6

### ОТДЕЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУЗОВ

Таблица П6.1

Примерные плотности грузов

Вид груза	Плотность, т/м <sup>3</sup>	Вид груза	Плотность, т/м <sup>3</sup>
Нефть	0,95	Генеральные	0,55
Дизельное топливо	0,87	Круглый лес	0,80
Железная руда	2,30	Фанера	0,60
Металлопрокат (балки)	1,40	Кокс	0,60
Металлолом	0,70	Зерно	0,75
Цемент	1,40	Сахар	0,80
Гравий	1,90	Уголь	0,90

Таблица П6.2

Основные параметры стандартных морских контейнеров

Тип кон-тейнера	Обозначение	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Масса брутто, т
40'	1AAA	12,192	2,438	2,896	30,48
	1AA			2,591	
	1A			2,438	
30'	1BBB	9,125	2,438	2,896	25,40
	1BB			2,591	
	1B			2,438	
20'	1CC	6,058	2,438	2,591	24,00
	1C			2,438	

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

СОРТАМЕНТЫ ПРОФИЛЕЙ

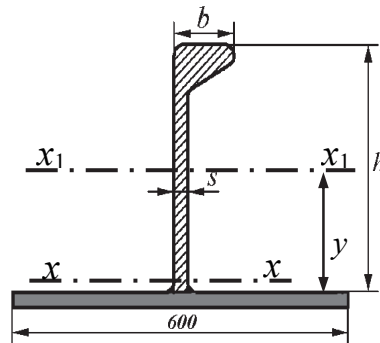


Таблица П7.1

Полособульб несимметричный по ГОСТ 21937-76

Но- мер про- филя	Элементы профиля								Мо- мент сопро- тивле- ния, см <sup>3</sup>
	Вы- сота <i>h</i> , мм	Шири- на бульба <i>b</i> , мм	Толщина, мм		Пло- щадь без пояска, см <sup>2</sup>	Рас- сто- яние до ц. т. <i>y</i> , см	Момент инерции, см <sup>4</sup>		
			стенки	пояска			<i>J<sub>x1x1</sub></i>	<i>J<sub>xx</sub></i>	
5	50	16	4	10	2,86	3,13	6,85	44	9
6	60	19	5	10	4,28	3,74	14,60	87	15
7	70	21	5	10	5,07	4,40	23,80	137	20
8	80	22	5	10	5,84	5,07	35,98	202	25
9	90	24	5,5	10	7,03	5,65	55,60	295	33
10	100	26	6	10	8,63	6,29	83,45	434	45
12	120	30	6,5	10	11,13	7,55	157,36	767	68
14a	140	33	7	10	14,05	8,82	271,51	1274	100
14б	140	35	9	10	16,85	8,53	324,11	1398	112
16a	160	36	8	10 15	17,94	9,99	452,07	1980 2200	140 147
16б	160	38	10	10 15	21,11	9,75	531,10	2190 2434	159 165
18a	180	40	9	10 15	22,18	11,13	712,53	2860 3280	188 200
18б	180	42	11	10 15	25,78	10,83	823,78	3130 3530	206 218
20a	200	44	10	15	27,36	12,35	1083,4	4730	268
20б	200	46	12	15	31,36	12,06	1236,1	5110	293
22a	220	48	11	15	32,82	13,53	1574,9	6500	345
22б	220	50	13	15	37,22	13,20	1777,3	6930	372
24a	240	52	12	15	38,75	14,71	2217,0	8720	434
24б	240	54	14	15	43,55	14,41	2478,8	9250	466

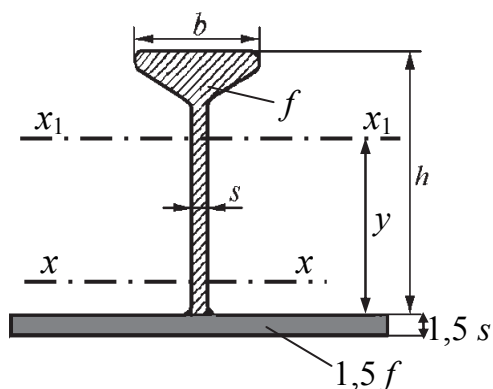


Таблица П7.2

Полособульб симметричный по ГОСТ 9235-76

Но- мер про- филя	Элементы профиля						
	Вы- сота $h$ , мм	Ширина бульба $b$ , мм	Тол- щина стен- ки $s$ , мм	Пло- щадь без пояска $f$ , см <sup>2</sup>	Расстоя- ние до ц. т. у., см	Момент инерции без пояска $J_{x_1x_1}$ , см <sup>4</sup>	Момент сопро- тивления с пояском $W_{xx}$ , см <sup>3</sup>
935	90	31	5	6,82	5,86	55,19	31,21
1035	100	35,5	5,5	8,53	6,58	84,81	44,06
1235	120	37,5	5,5	10,15	7,89	146,77	61,89
1446	140	42	6	13,10	9,25	257,02	94,41
1447	140	43,5	7,5	15,20	8,94	300,51	104,64
1646	160	48,5	6,5	16,47	10,66	422,40	137,51
1658	160	50	8	18,87	10,32	488,39	150,6
1857	180	55	7	20,20	12,06	656,07	191,14
1858	180	56,5	8,5	22,90	11,70	751,29	207,8
2068	200	60,4	8,4	26,06	13,21	1049,53	268,19
20610	200	62	10	29,26	12,86	1185,44	290,37
2268	220	64	8	28,24	14,75	1371,90	326,21
22610	220	68	10	33,14	14,34	1624,05	368,71
2478	240	71	8,5	33,17	16,19	1915,56	422,22
24710	240	75,5	10,5	38,65	15,78	2252,44	475,31
271010	270	102	10	41,75	17,96	3163,03	589,24
27812	270	82	12	48,33	17,54	3582,17	656,04
30810	300	89	10	51	20,62	4557,50	834
30812	300	91	12	57	20	5165	893

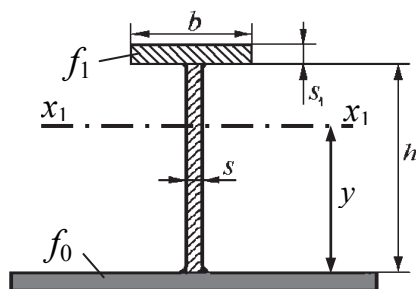


Таблица П7.3

Тавр по ОСТ 5.9373-80

Но- мер про- филя	Элементы профиля								Момент инер- ции $J_{x_1x_1}$ , см <sup>4</sup>
	Высо- та $h$ , мм	Шири- на полки $b$ , мм	Толщина, мм		Пло- щадь без прис. пояс- ка, см <sup>2</sup>	Рас- сто- яние до ц. т. $y$ , см	Момент сопротивления, см <sup>3</sup>		
			стен- ки $s$	пол- ки $s_1$			при $f_0 = f_1$	при $f_0 = \infty$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	80	40	4	6	5,6	5,84	22,6	28,1	42,5
10	100	50	4	6	7,0	7,27	35,6	43,8	81,5
12	120	60	4	6	8,4	8,7	51,5	62,9	139,2
14	140	80	4	6	10,4	10,4	73,5	88,9	229,2
16а	160	80	4	6	11,2	11,6	92,4	112	325,3
16б	160	100	5	8	16,0	12,2	146	172	452,8
18а	180	100	4	8	15,2	13,9	162	188	529,0
18б	180	100	5	10	19,0	14,0	202	236	670,5
20а	200	100	5	8	18,0	14,6	186	228	813,9
20б	200	100	6	10	22,0	14,8	234	282	1001
22а	220	100	5	10	21,0	16,5	205	250	1137
22б	220	120	6	12	27,6	17,0	356	417	1459
25а	250	120	6	12	29,4	18,9	413	489	2042
25б	250	140	8	14	39,6	19,0	557	655	2768
28а	280	120	7	12	34,0	20,2	483	589	3050
28б	280	140	8	14	42,0	20,8	636	756	3722
32а	320	140	8	14	45,2	23,2	743	906	5280
32б	320	180	10	14	57,2	23,3	957	1160	6661
32в	320	160	8	16	51,2	24,4	932	1099	5797
36а	360	160	8	16	54,4	26,8	952	1154	7901

Продолжение табл. П7.3

Продолжение табл. П7.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
366	360	200	10	14	64,0	26,2	1200	1450	9395
40a	400	180	10	14	65,2	28,0	1250	1550	11960
406	400	220	12	16	83,2	28,8	1690	2060	15180
45a	450	200	10	14	73,0	31,4	1570	1940	16880
456	450	250	14	18	108,0	32,2	2440	2990	26000
50a	500	220	12	16	95,2	34,5	2230	2790	28180
506	500	250	14	18	115,0	35,1	2781	3442	32960
56a	560	250	14	18	123,4	38,5	3180	4000	44370
566	560	300	16	20	149,6	39,6	4122	5070	53637
63a	630	300	14	20	148,2	44,7	4620	5650	66880
636	630	360	18	22	192,6	44,9	6080	7430	87050
71a	710	360	16	22	192,8	50,5	6860	8340	110200
716	710	400	20	24	238,0	50,3	8300	10170	136800
80a	800	360	18	22	223,2	54,6	8140	10220	163000
806	800	450	22	26	293,0	56,5	11500	14130	213700

*Учебное издание*

**Бурменский** Андрей Дмитриевич  
**Каменских** Ираида Витальевна  
**Чижиумов** Сергей Демидович

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА  
МОРСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СУДОВ**

Учебное пособие

Научный редактор – кандидат технических наук,  
доцент С. В. Кошкин

Редакторы Т. Н. Карпова, Е. В. Назаренко

Подписано в печать 25.12.2014.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага 60 г/м<sup>2</sup>. Ризограф EZ570e.  
Усл. печ. л. 7,66. Уч.-изд. л. 7,32. Тираж 50 экз. Заказ 26677.

Редакционно-издательский отдел  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.

Полиграфическая лаборатория  
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего профессионального образования  
«Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»  
681013, Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27.