



Министерство образования  
Республики Беларусь

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

---

Кафедра «Гидравлика»

А.А. Хмелев

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
КОНСТРУКТИВНОГО  
МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТА СУДОВ  
ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ**

*Методическое пособие*

**Часть 1**

Минск  
БНТУ  
2010

Министерство образования Республики Беларусь  
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

---

---

Кафедра «Гидравлика»

А.А. Хмелев

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО  
МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТА СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

Методическое пособие  
для студентов специальности 1-37 03 02  
«Кораблестроение и техническая эксплуатация  
водного транспорта»

В 4 частях

Часть 1

Минск  
БНТУ  
2010

УДК 629.55.01 (075.8)

ББК 39.42 я 7

X 65

**Р е ц е н з е н т ы:**

д-р техн. наук, профессор кафедры «Гидравлика»

И.В. Качанов;

зам. министра Министерства транспорта Республики Беларусь

А.Н. Чернобылец

**Хмелев, А.А.**

X 65 Проектирование конструктивного мидель-шпангоута судов внутреннего плавания: методическое пособие для студентов специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта»: в 4 ч. / А.А. Хмелев. – Минск: БНТУ, 2010. – Ч. 1. – 59 с.

ISBN 978-985-525-366-3 (Ч. 1).

Предлагаемое учебное пособие предназначено для студентов кораблестроительных специальностей и может быть использовано при изучении курса конструкции корпуса судна, и при выполнении курсовых и дипломных проектов.

В издании изложены вопросы расчета общей продольной прочности и проектирования днищевых, бортовых, палубных перекрытий судов внутреннего плавания

УДК 629.55.01 (075.8)

ББК 39.42 я 7

ISBN 978-985-525-366-3 (Ч. 1)

ISBN 978-985-525-367-0

© Хмелев А.А., 2010

© БНТУ, 2010

## ВВЕДЕНИЕ

«Конструкция корпуса судов» является одной из основных дисциплин, изучаемых студентами специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» Белорусского национального технического университета.

Целью настоящего методического пособия является оказание методической помощи студентам дневного и заочного отделений, обучающихся по данной специальности. Необходимость издания указанного пособия объясняется отсутствием литературы в библиотеке БНТУ по программе читаемого курса.

Курс конструкции корпуса предусматривает лекции и курсовой проект. В свою очередь курсовой проект предусматривает своей целью закрепление теоретических знаний и включает в себя следующие виды работ:

1. Выбор и обоснование материала корпуса судна, размера шпации и системы набора перекрытий;

2. Выбор толщины обшивки и настилов из условий обеспечения местной и общей прочности и запаса на коррозию, а также с учетом минимальных строительных толщин;

3. Выбор размеров связей корпуса, обеспечивающих местную прочность с запасами на коррозию;

4. Расчет изгибающих моментов на тихой воде и на волнении. Определение требуемых моментов сопротивления палубы и днища судна, момента инерции поперечного сечения;

5. Расчет фактических моментов сопротивления и моментов инерции поперечного сечения и сравнения их с требуемых по «Правилам»;

6. Вычерчивание конструктивных схем и размеров бортового, палубного перекрытия, поперечной переборки и эквивалентного бруса.

Основным нормативным техническим документом при проектировании корпусов судов внутреннего плавания служат Правила классификационных обществ. В Республике Беларусь это «Правила Речного Регистра РФ. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания». В них содержатся требования к качеству материала, размерам элементов конструкции, указания по конструктивному оформлению основных узлов и элементов. Считается, что надежность конструкций обеспечивается, если они спроектированы в соответствии с требованиями «Правил».

Окончательные проектные размеры всех связей принимаются согласованными с отраслевыми стандартами и ГОСТами.

# 1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ, ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ШПАЦИИ

## 1.1. Определения и пояснения

Главные размерения судна в соответствии с требованиями «Правил классификационных обществ» обозначают следующим образом, рисунок 1.1.

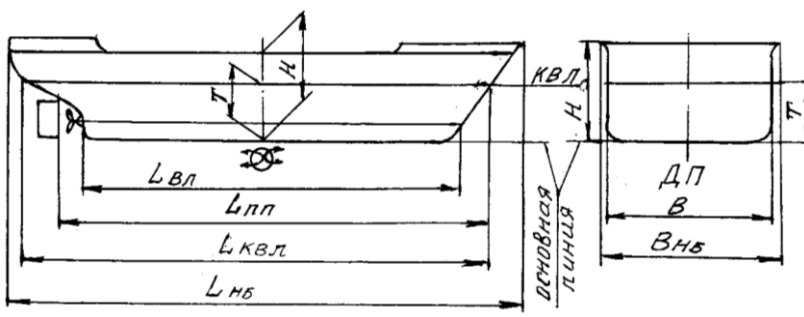


Рисунок 1.1 – Главные размерения судна

Обычно к главным размерениям судна относят четыре величины:

$L$  или  $L_{KBЛ}$  – длина по конструктивной ватерлинии, м;

$B$  – ширина по конструктивной ватерлинии, м;

$H$  – высота борта на мидель-шпангоуте до верхней расчетной палубы, м;

$T$  – осадка судна – расстояние по высоте борта от основной линии до конструктивной ватерлинии (КВЛ) на мидель-шпангоуте, м.

Дополнительно к указанным размерениям относят следующие:

$L_{NB}$  – длина наибольшая – расстояние, измеренное по горизонтали, между крайними точками носовой и кормовой оконечностей судна без выступающих частей, м;

$L_{ПП}$  – длина между перпендикулярами – расстояние, измеренное по горизонтали, от точки пересечения КВЛ с диаметральной плоскостью (ДП) в носовой части судна до линии, совпадающей с осью балера руля, м;

$L_{ВЛ}$  – длина по любой ватерлинии, м;

$B_{нб}$  – наибольшая ширина-расстояние, измеренное между крайними точками корпуса, без учета выступающих частей, м.

Основная линия – след основной плоскости, т.е. горизонтальной плоскости, проходящей через нижнюю точку теоретической поверхности корпуса без выступающих частей.

В «Правилах» приняты следующие определения участков длины судна:

1. Средняя часть – участок длиной  $0,5L$ , считая по  $0,25L$  в нос и в корму от мидель-шпангоута;

2. Носовая оконечность – участок длиной  $0,15L$  от носового перпендикуляра;

3. Кормовая оконечность самоходного судна – участок между кормовым перпендикуляром и кормовой переборкой машинного отделения или участок длиной  $0,15L$  от кормового перпендикуляра, смотря по тому, что меньше;

4. Кормовая оконечность несамоходного судна – участок длиной  $0,15L$  от кормового перпендикуляра;

5. Переходные районы – участки между средней частью и оконечностями.

Если характеристики размеров набора, которыми определяют размеры проектируемых по «Правилам» элементов конструкций корпуса, не совпадают с приведенными в настоящем разделе, то при расчетах используют метод линейной интерполяции.

## ***1.2. Область распространения***

При работе над проектом набор конструкций выполняется по «Правилам», то необходимо иметь в виду, что требования этих «Правил» распространяется на следующие типы судов классов «М», «О», «Р», «Л» длиной до 140 м:

1. Самоходные трюмные однопалубные сухогрузные судна с кормовым расположением машинного отделения;

2. Самоходные наливные судна с кормовым расположением машинного отделения;

3. Несамоходные трюмные однопалубные сухогрузные суда;

4. Несамоходные наливные суда;

5. Самоходные суда-площадки с кормовым расположением машинного отделения и несамоходные суда-площадки;
6. Пассажирские водоизмещающие суда;
7. Буксиры и толкачи;
8. Суда технического флота;
9. Рыбопромысловые суда;
10. Служебно-вспомогательные суда;

Соотношения главных размерений указанных судов  $L/H$ ,  $B/H$  должны быть не более указанных в таблице 1.1.

Таблица 1.1

### Соотношения главных размерений судна

Тип судна	Соотношения главных размерений для судов классов					
	«М»		«О»		«Р» и «Л»	
	$\frac{L}{H}$	$\frac{B}{H}$	$\frac{L}{H}$	$\frac{B}{H}$	$\frac{L}{H}$	$\frac{B}{H}$
1. Самоходные и несамоходные трюмные суда	25	4,0	27	5,0	28	5,0
2. Самоходные наливные суда	25	4,0	27	5,0	35	6,0
3. Самоходные и несамоходные суда-площадки и несамоходные наливные суда	25	5,0	35	6,0	40	7,0

### 1.3. Материалы

Для постройки корпусов речных судов применяют судостроительные стали, алюминиевые сплавы и неметаллические материалы.

Для корпусов стальных судов применяется корпусная сталь, марки которой определяются по ГОСТ5521-93. В соответствии, с которым металлургическая промышленность выпускает малоуглеродистую и низколегированную толстолистовую (толщиной более 4 мм) и тонколистовую (до 4 мм), полосовую и профильную прокатную сталь.

Листы толщиной 4÷20 мм металлургические заводы изготавливают с интервалом 0,5 мм, более 20 мм – с интервалом 1 мм.

Сортамент сталей и их механические свойства приведены в таблицах П1-П11 приложения, а обобщенная классификация сталей приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Категория стали	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение, %	Толщина листа, мм
А В Д Е	400-490	235	22	4-60 5-50 5-50 5-50
А32 Д32 Е32	470-590	315	22	4-40 5-20 5-20
А36 Д36 Е36	490-620	355	21	4-40 5-15 5-15
А40 Д-40 Е-40	530-690	390	19	4-15 5-15 5-15
09Г2	440	300	21	4-30
10ХСНД	530	390	19	4-15
ВСтЗсп2	350-480	235	20	4-60

В марках буквы расшифровываются следующим образом: А, В, Д, Е – категории сталей; Ст – сталь; цифра 3, следующая за этими буквами – условный номер марки; сп, пс и кп – степень раскисления стали – соответственно спокойная, полуспокойная и кипящая; наличие легирующих элементов показывают буквы: Г – марганца, С – кремния, Д – меди, Х – хрома, Н – никеля.

Уровень раскисления стали определяется содержанием в ней кремния. Кипящая сталь содержит кремния < 0,07 %, полуспокойная – (0,05–0,12)% и спокойная – (0,12–0,3)%. Это процентное со-



держание кремния нормируется «Правилами». Кипящая сталь относится ко второй категории по ГОСТ 380-71 и является самой низкокачественной по сравнению с полуспокойной и спокойной.

В кипящей стали содержатся трудно обнаруживаемые внутренние трещины, которые являются основной причиной крайне низкой трещиностойкости кипящей стали.

Упомянутый ГОСТ 380-71 предусматривает введение в обозначение марки углеродистой стали указание на условие поставок и приемки сталей заказчиком. В зависимости от нормируемых показателей сталь группы В разделена на 6 категорий. Главное различие в категориях связано с результатами испытания на ударную вязкость. Например, обозначение ВСтЗсп2 означает, что эта сталь второй категории, для нее проба на ударную вязкость не предусматривается, т.е. значение ударной вязкости не нормируется. В марке ВСтЗсп3 цифра 3 обозначает поставку стали с пробой на ударную вязкость при температуре +20°С, а цифра 4 – проба на ударную вязкость при температуре -40°С. Эти категории не следует путать с категориями, требующими согласно Правилам Регистра (первый столбец таблицы 1.2). Например ВСтЗкп2 и ВСтЗпс2 соответствуют категории А Регистра, а ВСтЗпс4 – категории В.

Углеродистые стали с пределом текучести  $\sigma_T = 235$  МПа обозначают только буквой соответствующей категории, а стали повышенной прочности – буквой (категория) и двумя цифрами (значение предела текучести), что соответствует международным требованиям. Например, Д40 – это сталь с пределом текучести не менее 390 МПа.

Марки сталей, применяемых в речном судостроении, приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Марки сталей	Толщина листа, мм	Область применения
1	2	3
А40, Д40, Е40, А36	Любая толщина	Для судов всех классов без ограничения
Д36, Е36, А32, Д32, Е32		
Е, Д, В (спокойная)		

Окончание таблицы 1.3

1	2	3
10ХСНД, О9Г2, ВСтЗсп2, ВСтЗсп2	4 мм и менее	
ВстЗпс4, ВСтЗГпс4	Любая толщина	Для судов всех классов, за исключением ледо- вого пояса
ВСтЗсп3	Любая толщина	Для судов классов М, О, Р, Л
А, ВСтЗпс3, ВСтЗГпс3	Любая толщина	Для судов классов М, О, Р, Л, кроме ледового пояса и конструкций упорных и сцепных устройств
ВСтЗсп2	5-12	
ВСтЗпс2	3, 9	
А, ВСтЗсп2	14 мм и более	Для судов всех классов, конструкций не участ- вующих в общей проч- ности, кроме конструк- ций упорных и сцеп- ных устройств
ВСтЗпс2	4 мм и более	
ВСтЗГпс2, ВСтЗкп2	Любая толщина	

Легированные стали значительно дороже углеродистых, поэтому целесообразность их применения тщательно обосновывают. Обычно из них изготавливают наиболее напряженные связи корпуса – палубный стрингер, комингсы люков.

Профильный прокат (рисунок 1.2) поставляется судостроительными предприятиями из сталей марок: ВСтЗсп2, ВСтЗпс2, ВСтЗкп2, ВСтЗпс3, ВСтЗсп4, О9Г2, О9Г2С и 10ХСНД.

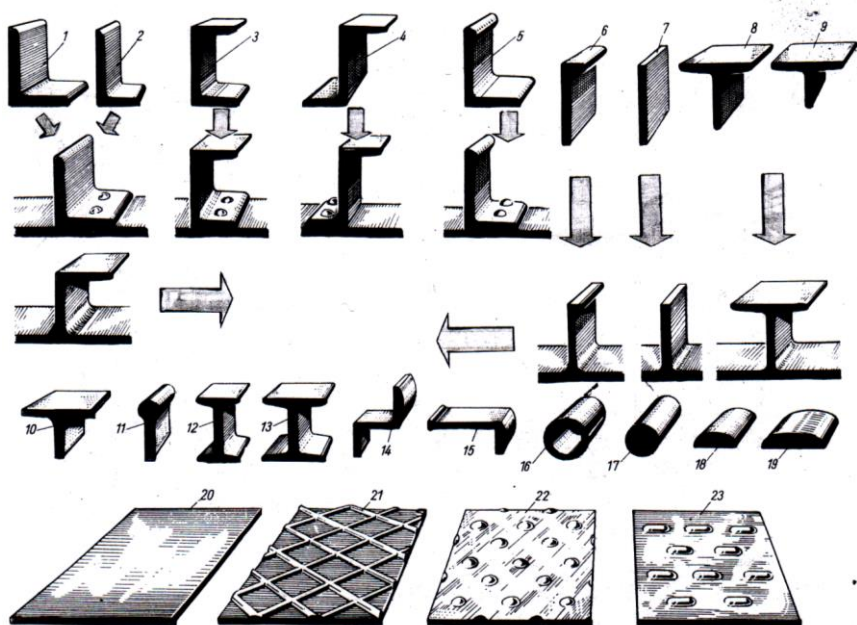


Рисунок 1.2 – Прокат для судостроения:

1 – равнобокий угольник; 2 – неравнобокий угольник; 3 – швеллерный (U-образный) профиль; 4 – Z-образный (зетовый) профиль; 5 – углобульбовый профиль; 6 – полосо-бульбовый (голландский) профиль; 7 – полосовая сталь; 8 – тавровый профиль; 9 – низкий тавровый профиль; 10 – тавровый сварной профиль из полосовой стали; 11 – сварной профиль из круглой и полосовой стали; 12 – двутавровый профиль с высокой стенкой; 13 – двутавровый профиль с широкими полками; 14 – люковый профиль; 15 – профиль для лееров; 16 – трубчатый профиль; 17 – круглая сталь; 18 – полукруглая сталь; 19 – сегментная сталь; 20 – гладкий лист; 21 – рифленый лист; 22 – рельефный лист; 23 – гусеничный лист

Алюминиевые сплавы в судостроении применяются для изготовления корпусов и надстроек судов на подводных крыльях и воздушной подушке, а также (с целью уменьшения осадки и улучшения остойчивости) надстроек пассажирских теплоходов.

В судостроении широко распространены сплавы алюминия с магнием, обладающие малой плотностью и высокой коррозионной стойкостью. Правилами Речного Регистра рекомендуется применять марки алюминиевых сплавов в зависимости от класса и длины судна, назначения элемента корпуса или надстройки (таблица 1.4).

Характеристикой прочности алюминиевых сплавов является предел текучести. В зависимости от марки сплава  $\sigma_T = 157\text{--}245$  МПа.

Таблица 1.4

Классы судна	Марка алюминиевого сплава при длине судна, м		
	Менее 20	20–70	Более 70
«М», «О»	$\frac{AM\Gamma 2}{AM\Gamma 3}$	$\frac{AM\Gamma 3}{AM\Gamma 5}$	$\frac{AM\Gamma 5}{AM\Gamma 61}$
«Р», «Л»	$\frac{\overline{A\dot{\Gamma}} \bar{a}2}{\overline{A\dot{\Gamma}} \bar{a}2}$	$\frac{AM\Gamma 2}{AM\Gamma 3}$	$\frac{AM\Gamma 2}{AM\Gamma 5, AM\Gamma 61}$
Примечание. Марки сплавов, указанные над чертой, применяют для наружной обшивки, настилов палуб и обшивки переборок, а под чертой – для набора.			

В качестве судостроительных материалов используют также пластмассы, железобетон и дерево.

#### 1.4. Выбор толщин связей корпуса

Толщины связей корпуса необходимо определять из расчета на прочность. Независимо от результатов расчета и марки применяемый стали толщины листов связей корпуса не должны быть приняты ниже указанных в таблице 1.5 минимальных толщин.

Таблица 1.5

Наименование связей	Минимальная толщина листов связей корпуса, мм, при длине, м, судна классов							
	«М»			«О»			«Р» и «Л»	
	20	80	140	20	80	140	20	80
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Наружная обшивка в средней части судна и кормовой оконечности	4,0	6,0	8,0	4,0	6,0	7,0	3,0	5,0
2. Скуловой пояс наружной обшивки и средней части судна и кормовой оконечности	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	8,0	4,5	6,0

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3. Днищевая обшивка наливных судов без двойного дна в средней части судна	4,5	6,5	9,0	4,5	6,5	8,0	4,0	5,5
4. Ширстрек и палубный стрингер в средней части судна	5,0	8,0	11,0	5,0	7,0	8,5	4,5	6,0
5. Настил палубы сухогрузных судов между бортом и продольным комингсом	4,5	7,0	9,0	4,5	6,5	7,5	4,0	5,5
6. Настил палубы наливных судов в районе грузовых танков	5,0	7,0	9,5	5,0	7,0	8,5	4,5	6,0
7. Настил палубы судов-площадок вне грузовой площади	4,0	6,5	8,0	4,0	6,0	7,0	3,0	5,5
8. Настил второго дна и обшивка внутренних бортов грузовых судов (кроме случаев, оговоренных в п. 9, 10)	4,5	6,0	7,0	4,0	5,5	6,5	3,0	5,0
9. Настил второго дна сухогрузных судов под грузовыми люками, если предусмотрена загрузка-разгрузка грейферами, и палуб судов-площадок в пределах грузовой площади	7,0	10,0	10,0	7,0	10,0	10,0	7,0	9,0
10. Обшивка внутренних бортов сухогрузных судов в районе грузовых трюмов, если предусмотрена загрузка-разгрузка грейферами	5,0	7,0	8,0	5,0	7,0	8,0	4,5	6,0
11. Обшивка непроницаемых переборок, за исключением форпиковой	3,0	5,0	5,0	3,0	4,0	5,0	3,0	4,0
12. Обшивка переборки форпика	4,0	6,0	6,0	3,0	5,0	6,0	3,0	5,0
13. Нижний пояс непроницаемых переборок сухогрузных судов	4,0	6,0	6,0	3,0	5,0	6,0	3,0	5,0

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14. Верхний пояс переборок в грузовых танках	5,0	6,5	8,0	5,0	6,0	7,0	4,0	5,0
15. Верхний пояс переборок судов-площадок в пределах грузовой площадки	5,0	8,0	8,0	5,0	8,0	8,0	5,0	7,0
16. Настил верхней палубы в оконечностях на открытых участках, настил и палубный стрингер прочных палуб надстроек, участвующих в общем изгибе	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	3,0	4,0
17. Настил верхней палубы в оконечностях на участках, закрытых надстройками	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0
18. Настил палубы в оконечностях толкаемых судов	4,0	7,0	8,0	4,0	7,0	8,0	4,0	6,0
19. Настил платформ, палуб бака и юта	4,0	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	3,0	4,0
20. Наружная обшивка в носовой оконечности	5,0	8,0	10,0	4,5	7,0	8,0	4,0	6,0
21. Листовые конструкции внутри грузовых танков, топливных и балластных цистерн сухогрузных и наливных судов, включая флоры и кильсоны междудонных отсеков, кроме указанных в п. 22, а также кроме листов переборок	4,0	6,0	7,0	4,0	6,0	7,0	3,5	5,0
22. Листовые конструкции под грузовыми настилами судов-площадок и под грузовыми настилами второго дна сухогрузных судов в пределах грузовых люков	5,0	8,0	8,0	5,0	8,0	8,0	5,0	7,0
23. Непрерывные продольные комингсы грузовых люков	7,0	10,0	12,0	6,0	9,0	11,0	5,5	7,5

Окончание таблицы 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
24. Поперечные комингсы	4,0	7,0	8,0	4,0	6,0	7,0	4,0	6,0
25. Листы шахт машинно-котельных отделений и капов машинного отделения, стенок надстроек, участвующих в общем изгибе	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0	4,0	3,0	4,0
<p>Примечания: 1. Толщины листов связей, приведенные в п. 1-8, 11-14 и 16-20, соответствуют шпации, равной 550 мм.</p> <p>2. Если дробная часть толщины, полученной путем интерполяции, больше или равна 0,25 мм, то округлять толщины следует в большую сторону, если меньше 0,25 мм – в меньшую.</p> <p>При толщинах более 6 мм допускается округлить: в меньшую сторону, если дробная часть менее 0,50 мм, и в большую сторону, если дробная часть менее 0,50 мм, и в большую сторону, если дробная часть больше или равна 0,50 мм.</p> <p>3. Для грузовых судов классов «Р» и «Л» грузоподъемностью до 600 т и осадкой до 1,2 м по согласованию с Речным Регистром допускается обоснованное проектантом снижение толщины настилов второго дна и грузовых палуб судов-площадок (п. 9), если загрузку-выгрузку выполняют кранами грузоподъемностью не свыше 5 т. При этом толщины листов не должны быть менее 7 мм для судов, длина которых превышает 35 м, и 6 мм для судов длиной 35 м и меньше.</p> <p>При использовании специальных средств защиты от коррозии толщины листов связей, приведенные в таблице выполненные из стали повышенной прочности, могут быть уменьшены пропорционально отношению <math>15,3/\sqrt{Re\bar{t}}</math>. Нельзя уменьшать толщины листов связей, приведенные в п. 2; 8-10; 21; 22 таблицы, а также днищевого рамного набора.</p>								

Ширина утолщенных поясов переборок (см. п.13-15 таблицы 1.5) должна быть не более 0,6 м.

Указанные в п.4 таблицы 1.5 толщины относятся к судам с высотой борта  $H \geq 2,5$  м. Ширина ширстрека должна быть не менее  $0,2H$ , палубного стрингера – не менее 0,6 м.

При  $H < 2,5$  м толщину ширстрека можно принимать равной толщине наружной обшивки.

Толщины листовых конструкций, подверженных специфическим износам и повреждениям (повышенный механический износ, повышенный износ настилов палуб и набора в районе танков наливных судов, перевозящих сернистые нефтепродукты, повышенной коррозионный износ при перевозке агрессивных грузов и т.п.), должны быть увеличены по сравнению с указанными в таблице 1.5 исходя из фактических скоростей износа.

Толщины днищевой обшивки и скулового пояса судов, предназначенных для эксплуатации на мелководье, рекомендуется увеличивать на 1 мм по сравнению с указанными в п. 1-3 и 20 таблицы 1.5.

Толщина наружной обшивки в носовой оконечности не должна приниматься менее 1,25 толщины наружной обшивки в средней части судна.

Толщина наружной обшивки в районе ахтерпика не должна приниматься меньше толщины наружной обшивки в средней части судна.

Изменения толщин листов в переходных районах должны быть постепенными.

### ***1.5. Выбор шпации***

Шпация – расстояние между балками продольного или поперечного набора – должна приниматься не более 650 мм. Рекомендуемая шпация – 550 мм.

Если шпация принята больше 550 мм, то толщины связей, указанные в п. 1-8, 11-14 и 16-20 таблицы 1.5 должны быть увеличены пропорционально увеличению шпации.

Если шпация принята меньше 550 мм то толщины связей в п.1-8, 11-14 и 16-20 таблица 1.5 могут быть уменьшены пропорционально уменьшению шпации.

Следует иметь ввиду, что при уменьшении шпации снижается теоретическая масса перекрытий, но увеличивается стоимость изготовления конструкции и наоборот. Ограничением уменьшения шпации являются минимальные толщины обшивки, а увеличение ограничено требованиями устойчивости и местной прочности обшивки.

### ***1.6. Выбор системы набора корпуса***

Классификацию системы набора обычно проводят по пластинам, т.е. по ориентации длинных сторон пластины вдоль или поперек корпуса. Пластина – это часть обшивки или настила, заключенная между балками опорного контура.

На судах применяется поперечная, продольная, клетчатая и комбинированная системы набора. Выбор зависит от преобладающих внешних сил и моментов (общий или местный изгиб, устойчивость).

Для небольших судов длиной до 70 м с малым отношением  $L/H$  целесообразно применять поперечную систему набора для всех перекрытий.



Поперечная система набора (рисунок 1.3, а), (рисунок 1.4, а)

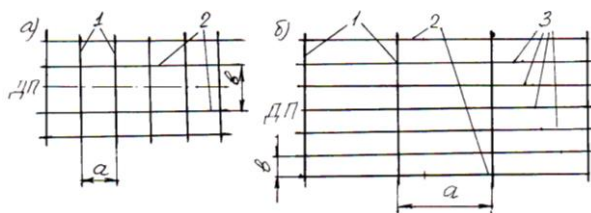


Рисунок 1.3 – Поперечная (а) и продольная (б) схемы систем набора:  
1 – шпангоуты; 2 – кильсоны; 3 – продольные связи

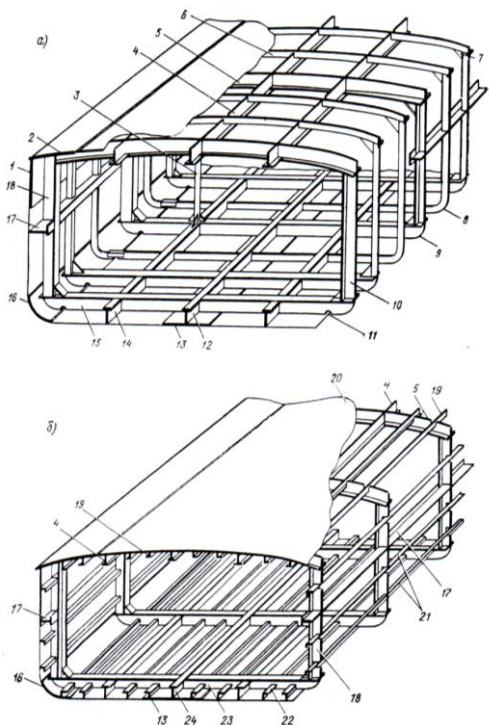


Рисунок 1.4 – Конструктивные элементы корпуса судна при поперечной (а) и продольной (б) системах набора:

1 – ширстрек; 2, 17 – палубный и бортовой стрингеры; 3 – пиллерс; 4 – карлингсы; 5 – рамный бимс; 6 – холостые бимсы; 7 – кница; 8, 9, 10 – холостой, флорный и рамный шпангоуты; 11 – голубница; 12, 14, 24 – средний, бортовой и днищевой кильсоны; 13 – утолщенный килевой пояс; 15 – флор рамного днищевого шпангоута; 16 – скуловой пояс обшивки; 18, 23 – рамные шпангоуты борта и днища; 19, 21 – соответственно палубные и бортовые продольные ребра жесткости; 20 – обшивка палубы; 22 – днищевые холостые продольные балки

При поперечной системе набора общая продольная прочность обеспечивается листами обшивки и настилов, а также рамами мощных перекрестных связей. Поперечную раму представляют мощные рамные шпангоуты, продольную вертикальную раму – кильсоны и карлингсы, а продольную горизонтальную – бортовые стрингеры. Все эти связи набора выполняют только рамного профиля.

Рамные шпангоуты являются главными балками поперечного набора. Они воспринимают основную нагрузку от давления воды и груза. Они состоят из усиленных сварных балок рамного шпангоута днища, рамного шпангоута борта и рамного бимса, которые соединены между собой при помощи книц (рисунок 1.5, а).

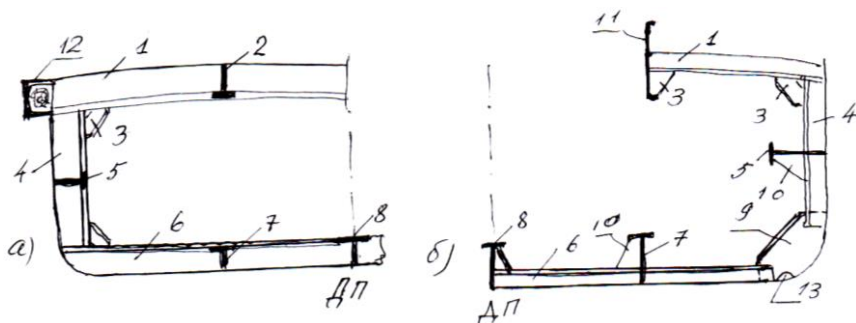


Рисунок 1.5 – Рамный (а) и холостой (б) шпангоуты при поперечной системе набора:  
 1 – бимс (рамный и холостой соответственно); 2 – карлингс; 3 – кница; 4 – шпангоут (рамный и холостой соответственно); 5 – бортовой стрингер; 6 – флор (рамный и холостой днищевые шпангоуты); 7 – кильсон; 8 – диаметральный кильсон; 9 – скуловая бракета; 10 – трапециевидная бракета; 11 – комингс люка; 12 – привальный брус; 13 – голубница

Холостые шпангоуты по всему периметру изготовлены из полобугльбового или углового профиля (рисунок 1.5, б).

Расстояние между рамными и холостыми шпангоутами не превышает четырех шпаций. Продольная система набора (рисунок 1.4, б, рисунок 1.6, а, б). Главными балками, учитывающими в общем продольном изгибе, являются обшивка и продольные балки рамного и холостого профилей. Известно, что пластина, опертая на вытянутый прямоугольный контур, при сжатии вдоль длинных сторон выдерживает в четыре раза большую снимающую нагрузку, чем при по-

перечной системе. Поэтому продольную систему набора применяют при изготовлении корпусов судов значительной длины. К недостаткам продольной системы набора относят более сложную стыковку секций при сварке корпуса и меньшую поперечную прочность. Другим недостатком продольной системы набора является высокий рамный набор, загромождающий внутренние объемы и наличие повышенной концентрации напряжений в местах нарушения непрерывности продольных ребер жесткости.

Редко поставленные и сильно нагруженные балки поперечного набора делают в данном случае неразрывными. Балки продольного набора крепятся к рамным поперечным балкам с помощью бракет или путем приварки вертикальной стенки холостой балки к рамной стенке поперечной балки.

Схемы поперечного сечения корпуса при продольной системе набора приведены на рисунке 1.6, а, б.

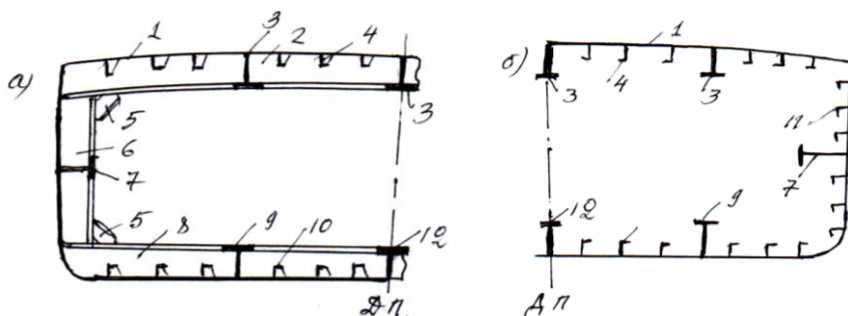


Рисунок 1.6 – Рамный (а) и холостой (б) шпангоуты при продольной системе набора: 1 – палубный настил; 2 – рамный бимс; 3 – карлингс; 4 – палубное ребро жесткости; 5 – кница; 6 – рамный шпангоут; 7 – бортовой стрингер; 8 – флор; 9 – кильсон; 10 – днищевое ребро жесткости; 11 – ребро жесткости борта; 12 – диаметральный кильсон

Смешанная система набора часто применяется при строительстве речных судов внутреннего плавания. В средней части судна, воспринимающей максимальный изгибающий момент, перекрытия палубы и днища изготавливают по продольной системе набора. Перекрытия же бортов, испытывающих значительные местные нагрузки, набирают по поперечной системе. Носовую и кормовую оконечности целиком набирают по поперечной системе.

## 1.7. Сварные соединения

Сварка является основным способом соединения деталей судового корпуса. В сварное соединение входят участки соединенных сварных частей, включающих сварной шов и зону основного металла с измененными свойствами.

Наиболее распространенными видами сварных соединений являются тавровые, составляющие (80–88) %, и стыковые, составляющие (12–15) % от общей протяженности сварных швов на судне. Остальные соединения (рисунок 1.7) встречаются реже.

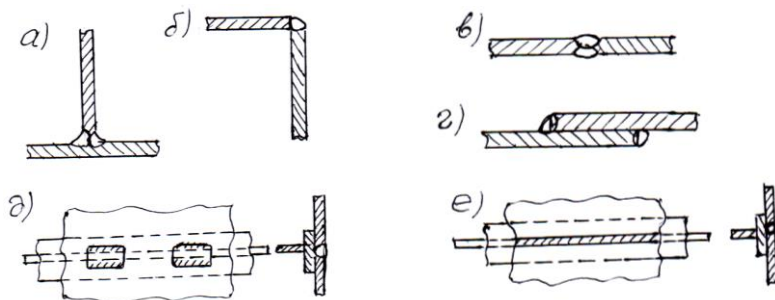


Рисунок 1.7 – Виды сварных соединений деталей корпусных конструкций:  
а – тавровые; б – угловые; в – стыковые; г – внахлестку; д – тавровые на пробочных швах;  
е – тавровые на прорезных швах с полным проваром

Конструктивным размером угловых и тавровых швов является катет  $K$  шва (рисунок 1.8).

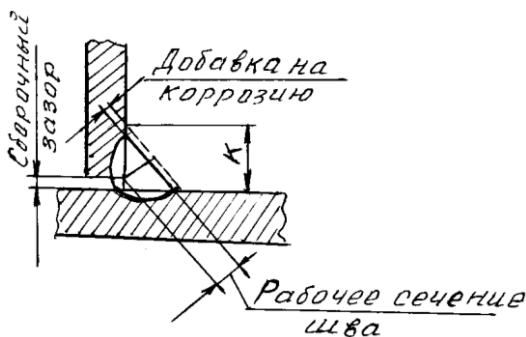


Рисунок 1.8 – К определению размера катета таврового шва

Обычно в судокорпусостроении при назначении типов и размеров угловых и тавровых швов не производится их расчета, а используются таблицы «Правил», в которых в зависимости от характера нагружения, ответственности соединения и толщины соединяемых деталей задаются параметры сварных швов (катет, тип шва – односторонний, двухсторонний и др.).

Причины, позволяющие использовать такой метод назначения размеров сварных швов, следующие:

- расчет, в подавляющем большинстве встречающихся конструкций и нагрузок на них, приводит к относительно малым размерам катетов;

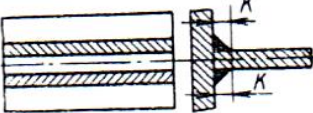
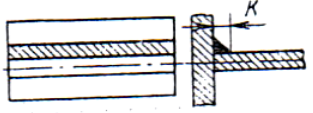
- сварщик в условиях судостроительного завода выполнить катет меньше 3 мм практически не может;

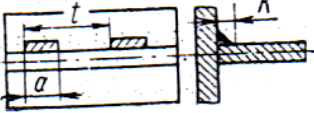
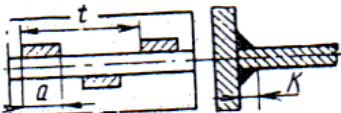
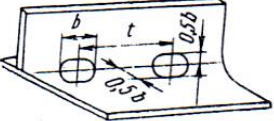
- размер катета должен учитывать допуски на сборку конструкции: величина зазора (рисунок 1.7) нормируется в зависимости от толщины листов и предполагаемого способа сварки, но по действующим нормам не должна превышать 2 мм;

- размер катета должен включать добавку на коррозию сварного шва.

В соответствии с требованиями «Правил Регистра» типы швов тавровых соединений конструкций корпусов судов приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Характер выполняемого шва	Обозначение шва	Эскиз шва
1	2	3
1. Двусторонний непрерывный	<i>ДК</i>	
2. Односторонний непрерывный	<i>ОК</i>	

1	2	3
3. Односторонний прерывистый	$K-a/t$	
4. Шахматный прерывистый	$K-aZt$	
5. Точечный односторонний	$T-b/t$	
Примечание. $D$ – двусторонний; $O$ – односторонний; $T$ – точечный; $K$ – катет шва, мм; $a$ – длина проварки, мм; $t$ – шаг, мм; $b$ – ширина точки, мм.		

Конструктивные элементы швов тавровых соединений без скоса кромок стальных конструкций корпусов судов следует назначать по таблице 1.6, в которой коэффициент прочности, соответствующий номеру шва, представляет собой отношение суммарной расчетной высоты непрерывного шва к толщине наиболее тонкого из соединяемых листов. Расчетная высота шва принята равной 0,7 катета шва. Для прерывистых и точечных швов указан коэффициент прочности равнопрочных им непрерывных швов.

Указанные в таблице 1.6 швы по согласованию с Речным Регистром могут быть заменены равнопрочными швами другого характера с иными размерами конструктивных элементов.

Номера швов тавровых соединений для элементов корпусов судов различных классов назначают по таблице 1.7 и 1.8.

Таблица 1.7

Толщина наиболее тонкого из соединяемых листов, мм	Номер шва				
	1	2	3	4	5
	Коэффициент прочности				
3	<i>ДЗ</i>	<i>Д2</i>	<i>О3</i>	3-50/100 или <i>Т</i> -10/40	3-50/100 или <i>Т</i> -10/40
3,2 и 3,5	<i>ДЗ</i>	<i>Д2</i>	<i>О3</i>	3-50/100 или <i>Т</i> -10/40	3-50/100 или <i>Т</i> -10/40
3,8 и 4,5	<i>ДЗ</i>	<i>Д3</i>	<i>О4</i>	<i>О3</i>	4-75/200 или <i>Т</i> -10/40
5 и 5,5	<i>Д4</i>	<i>Д4</i>	<i>О4</i>	<i>О3</i>	4-75/200 или <i>Т</i> -10/40
6 и 7	<i>Д5</i>	<i>Д4</i>	<i>Д3, 5</i>	4-75 $\geq$ 150	4-75 $\geq$ 300
8 и 9	<i>Д6</i>	<i>Д5</i>	<i>Д4</i>	5-75 $\geq$ 150	4-75 $\geq$ 200
10	<i>Д7</i>	<i>Д6</i>	<i>Д5</i>	6-75 $\geq$ 150	4-75 $\geq$ 200
12	<i>Д9</i>	<i>Д6</i>	<i>Д5</i>	6-75 $\geq$ 150	4-75 $\geq$ 200
Примечание. Катеты швов 5 мм и более, выполняемые автоматической и полуавтоматической сваркой под слоем флюса или в углекислом газе, допускается уменьшать на 1 мм.					

Таблица 1.8

Свариваемые элементы корпуса судов	Номер шва по таблицам для судов классов	
	«М» и «О»	«Р» и «Л»
1	2	3
<b>Днищевой набор</b>		
1. Стенки кильсонов, флоров к наружной обшивке, кроме указанных в п. 5 и 3	3	4
2. Стенки кильсонов, флоров к их поясам, или к настилу второго дна, кроме указанных в п. 3-5	4	4

Продолжение таблицы 1.8

1	2	3
3. Стенки кильсонов к их поясам, настилу второго дна и наружной обшивке в машинных отделениях в районе фундаментов	2	3
4. Стенки кильсонов, флоров к настилу второго дна сухогрузных судов, загрузку и выгрузку которых производят грейферами	3	3
5. Стенки непроницаемых флоров и кильсонов к наружной обшивке и к настилу второго дна	2	2
6. Стенки флоров и кильсонов друг к другу и к переборкам	2	2
7. Холостой набор к наружной обшивке на 0,2 длины судна в машинном отделении, носовой и кормовой оконечностях	3	3
8. Холостой набор к наружной обшивке в районах, кроме указанного в п.7	5	5
9. Холостой набор к настилу второго дна сухогрузных судов, загрузку и разгрузку которых производят грейферами	3	3
10. Холостой набор к настилу второго дна для судов, кроме указанных в п.9	4	4
11. Настил второго дна к наружной обшивке и к внутреннему борту	2	2
<b>Бортовой набор</b>		
12. Стенки рамных шпангоутов и бортовых стрингеров к их поясам, к наружной обшивке и к обшивке внутреннего борта	3	4
13. Стенки бортовых стрингеров, рамных шпангоутов и холостой набор к обшивке второго борта судов, загрузку и разгрузку которых производят грейферами	3	3
14. Стенки рамных шпангоутов и бортовых стрингеров один к другому и к переборкам	2	2



Продолжение таблицы 1.8

1	2	3
15. Холостой набор к наружной обшивке и к обшивке внутреннего борта	3	4
<b>Набор палуб и платформ</b>		
16. Набор палубы к палубному настилу в районах установки опорных барабанов на плавучих кранах	1	1
17. Набор палубы к палубному настилу на судах-площадках	2	2
18. Набор палубы к палубному настилу на судах, кроме указанных в п.17	5	5
19. Стенки рамного набора к их пояскам	4	4
20. Стенки рамных бимсов и карлингсов друг к другу, к бортовой обшивке и к переборкам	2	2
21. Комингсы люков к палубе и к бимсам	2	2
<b>Переборки</b>		
22. Форпиковая, ахтерпиковая переборки и переборки водяных и нефтяных цистерн к наружной обшивке и к палубе	2	2
23. Непроницаемые переборки, кроме указанных в п.22, к наружной обшивке, настилу второго дна и к настилу палубы	2	2
24. Стенки рамного набора к их пояскам и к листам переборок	4	4
25. Стенки рамного набора переборок друг к другу и к днищевому, бортовому и палубному набору	2	2
26. Продольные переборки к поперечным	2	2
27. Холостой набор переборок к их листам	5	5
<b>Палубы, платформы и надстройки</b>		
28. Палубные стрингеры верхних расчетных палуб к наружной обшивке	1	1
29. Палубные стрингеры палуб, кроме указанных в п. 28, и платформы к наружной обшивке	2	2

1	2	3
30. Пиллерсы к поясам рамного набора и второму дну	2	2
31. Наружные стенки рубок и надстроек к палубе	3	3
32. Набор надстроек и рубок к их стенкам	5	5
33. Переборки надстроек и рубок к палубе	4	4
<b>Кницы, подкрепления рамного набора</b>		
34. Кницы к набору и к листам конструкций	2	2
35. Пояски книц к стенкам книц	2	2
36. Подкрепляющие ребра жесткости и окантовочные полосы вырезов к стенкам рамного набора	4	5
<b>Фундаменты</b>		
37. Стенки, бракетки и кницы фундаментов двигателей внутреннего сгорания один к другому, к наружной обшивке, к настилу второго дна и к опорным поясам	1	1
38. Стенки, бракетки и кницы фундаментов, кроме указанных в п.37, к наружной обшивке, к настилу второго дна и к опорным поясам	2	2
39. Пояски бракет и книц к их стенкам	2	3

При изготовлении сварных конструкций в них возникает ряд явлений, которые являются нежелательными:

1) изменение структуры металла околошовной зоны, могущее привести к изменению механических свойств материала;

2) неравномерный высокотемпературный нагрев деталей конструкции при сварке вызывает появление остаточных сварочных напряжений и деформаций. После остывания конструкции эти остаточные деформации искажают форму и размеры соединения, уменьшая надежность конструкции и ухудшая ее эксплуатационные качества;

- 3) возможность появления всевозможных микроконцентраторов напряжений, являющихся следствием различных дефектов сварного шва;
- 4) скученность сварных швов создает напряженное состояние, близкое к объемному, что резко снижает деформационную способность конструкции и повышает вероятность возникновения хрупких трещин.

Правила Речного Регистра предусматривают мероприятия, исключающие или уменьшающие степень вредного влияния сварных соединений на надежность корпуса судна. Важнейшие из них приведены на рисунке 1.9. Так расстояние между параллельными стыковыми швами должно быть не меньше десяти толщин листа при толщине листа 3–10 мм и 100 мм при толщине листа больше 10 мм.

Расстояние между параллельными стыковыми и узловыми сварными швами, расположенными внутри секции, должно быть не менее 30 мм.

Угол между двумя стыковыми швами должен быть больше  $60^\circ$ .

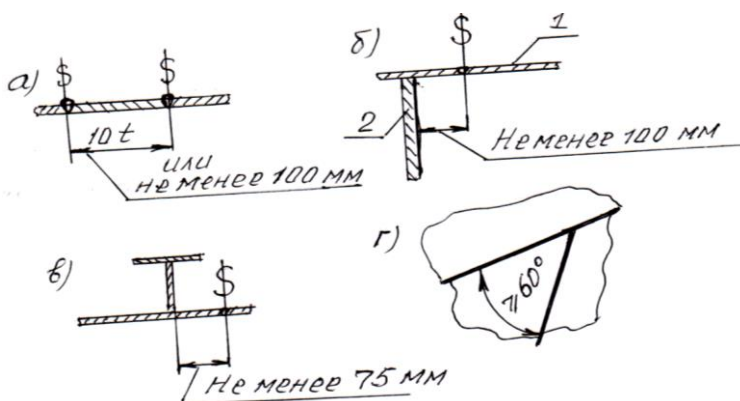


Рисунок 1.9 – Требования «Правил Регистра» к взаимному расположению сварных швов:

- а – параллельные стыковые швы; б – стыки листов; в – параллельные угловые и стыковые швы; г – пересекающиеся швы;  
 1 – обшивка или настил; 2 – переборка или рамная связь

## 2. ОБЩАЯ ПРОДОЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ПО ДОПУСКАЕМЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ И ПО ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ

Определение напряжений от общего изгиба должно производиться для двух случаев: прогиба (при сжатой палубе) и перегиба (при сжатом днище) при действии на судно суммарного изгибающего момента на тихой воде  $M_{Т.В.}$  и дополнительного волнового момента  $M_{Д.В.}$ .

Вычисления изгибающих моментов  $M_{Т.В.}$  и перерезывающих сил  $N_{Т.В.}$  на тихой воде производится непосредственным интегрированием кривой нагрузки. Для судов всех типов должны быть рассмотрены наиболее неблагоприятные возможные в эксплуатации состояния нагрузки. Расчетные состояния, требуемые Регистром, для сухогрузных, наливных и пассажирских судов, судов технического флота, буксиров и толкачей приведены в [3].

Для сухогрузных судов при рассмотрении состояния нагрузки в грузу следует учитывать возможную неравномерную загрузку трюмов по сравнению с предусмотренной инструкцией о погрузке и выгрузке. Предполагается, что 5 % общего количества принято на судно груза перенесено из трюмов (с грузовой палубы) средней части судна в трюмы (на грузовую палубу) в оконечностях или наоборот (рисунок 2.1).

У судов с отношением  $\frac{L}{H} > 25$  определение  $M_{Т.В.}$  и  $N_{Т.В.}$  может производиться с учетом гибкости корпуса. Значение их в этом случае определяются по формулам:

$$\hat{\lambda}_{0\bar{A}} = \beta \lambda_{0\bar{A}}^0, \quad (2.1)$$

$$N_{0\bar{A}} = \beta N_{0\bar{A}}^0, \quad (2.2)$$

где  $\lambda_{0\bar{A}}^0$  и  $N_{0\bar{A}}^0$  – изгибающий момент и перерезывающая сила, определенные без учета влияния гибкости судна;

$\beta$  – коэффициент, учитывающий влияние гибкости корпуса и равный

$$\beta = \frac{1}{1 + 12,5 \frac{L^4 B}{EJ} \alpha^2}, \quad (2.3)$$

где  $E$  – модуль упругости материала корпуса, МПа;

$J$  – момент инерции миделевого сечения эквивалентного бруса в первом приближении, м<sup>4</sup>;

$\alpha$  – коэффициент полноты расчетной ватерлинии.

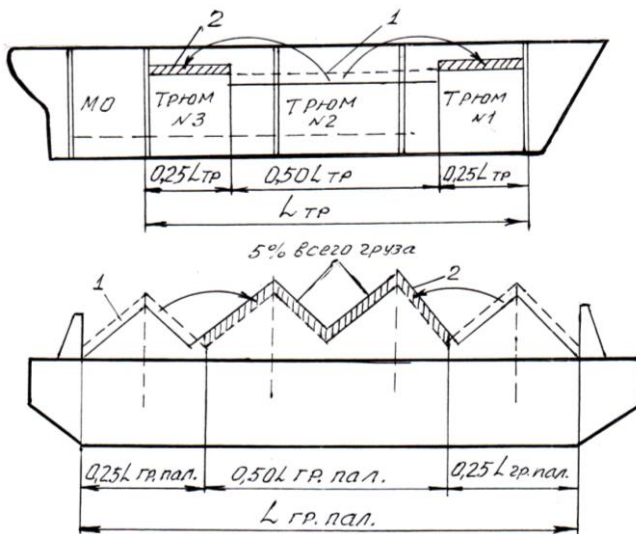


Рисунок 2.1 – Неравномерная загрузка сухогрузных судов:

- 1 – распределение груза, согласно инструкции по погрузке и выгрузке;
  - 2 – распределение груза по Правилам Регистра при расчетах общей прочности.
- Заштрихованная область представляет 5 % всего груза

### 2.1. Дополнительный волновой изгибающий момент

Дополнительный волновой изгибающий момент  $M_{д.в.}$  (кН·м) определяется по формуле

$$\dot{\lambda}_{\lambda\lambda} = \pm \hat{e}_0 \hat{e}_1 \hat{e}_2 \delta \tilde{A} L^2 h, \quad (2.4)$$

где  $h$  – расчетная высота волны (м), равная 3,0; 2,0; 1,2 и 0,6 м соответственно для классов «М», «О», «Р» и «Л»;

$\delta$  – коэффициент общей полноты судна;

$\kappa_0$  – коэффициент, значение которого вычисляется по формулам:

$$\text{– для судов класса «М» и «О» } \hat{e}_0 = 1,24 - 1,7 \frac{\hat{A}}{L}; \quad (2.5)$$

$$\text{– для судов класса «Р» и «Л» } \hat{e}_0 = 1,24 - 12,0 \frac{\hat{A}}{L}; \quad (2.6)$$

$\kappa_1$  – коэффициент, значение которого принимается по таблице 2.1;

$\kappa_2$  – коэффициент, значение которого вычисляется в зависимости от осадки носом  $T_n$  и длины судна  $L$  по формуле

$$\hat{e}_2 = 2 - 20 \frac{\hat{Q}_1}{L} \quad (2.7)$$

Значение  $\kappa_2$  не должно приниматься меньше единицы.

Таблица 2.1

Значение коэффициента  $\kappa_1$

Класс судна	Длина судна $L$ , м			
	20	60	100	140
«М»	0,234	0,172	0,136	0,116
«О»	0,207	0,134	0,099	0,077
«Р»	0,168	0,107	0,078	0,055
«Л»	0,123	0,085	0,061	-

Значение дополнительного волнового изгибающего момента принимается постоянным на протяжении  $0,5L$  в средней части судна и уменьшается к оконечностям до нуля по линейному закону (рисунок 2.2).

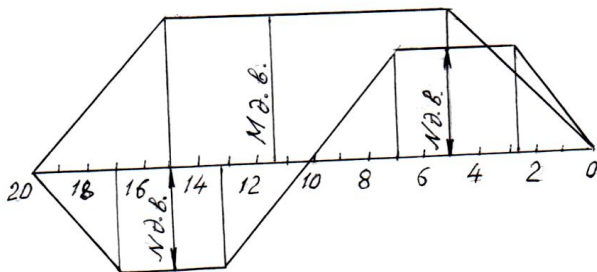


Рисунок 2.2 – Эпюры дополнительного волнового момента и перерезывающей волновой силы

## 2.2. Определение дополнительной волновой перерезывающей силы

Дополнительная волновая перерезывающая сила  $N_{д.в.}$  (кН) определяется по формуле

$$N_{д.в.} = \frac{4 \lambda_{А\bar{А}}}{L} \quad (2.8)$$

Ее эпюра должна быть принята в соответствии с рисунком 2.2.

Наибольшие расчетные значения изгибающих моментов и перерезывающих сил при прогибе и перегибе определяются алгебраическим суммированием изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде и дополнительных их составляющих на волнении, т.е.

$$\lambda_{\delta} = \lambda_{O\bar{A}} + \lambda_{A\bar{A}}, \quad (2.9)$$

$$N_p = N_{O\bar{A}} + N_{A\bar{A}}. \quad (2.10)$$

Расчет прочности следует проводить для тех сечений корпуса, в которых можно ожидать наибольших напряжений, т.е. в сечениях, где действуют максимальные изгибающие моменты и перерезывающие силы, в наиболее слабых сечениях средней части судна, в местах окончания основных продольных связей, в сечениях у границ перехода одной системы набора в другую.

В эквивалентный брус включаются все продольные связи, находящиеся в сечении и идущие непрерывно на протяжении большем, чем удвоенная высота борта. Прерывистые связи включаются в соответствии с рисунком 2.3.

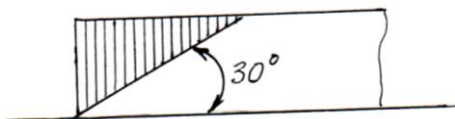


Рисунок 2.3 – Включение прерывистых связей в эквивалентный брус (заштрихованный участок в эквивалентный брус не включается)

Одноярусные надстройки (рубки), опирающиеся не менее чем на три поперечных переборки, включаются в эквивалентный брус в соответствии с рисунком 2.4.

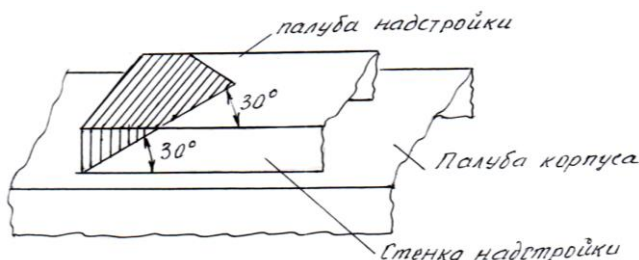


Рисунок 2.4 – Включение надстройки (рубки) в эквивалентный брус (заштрихованный участок в эквивалентный брус не включается)

Ограждения грузовых палуб и привальные брусья всех судов в состав эквивалентного бруса не включаются.

### 2.3. Определение нормальных и касательных напряжений в сечении эквивалентного бруса

Нормальные напряжения (МПа) при общем изгибе корпуса судна определяются по гипотезе плоских сечений по формуле

$$\sigma_i = \frac{M_p}{J} Z_i \cdot 10^{-3}, \quad (2.11)$$



а касательные напряжения на уровне нейтральной оси эквивалентного бруса (МПа) – по формуле

$$\tau = \frac{N_p}{J} \frac{S}{\sum t} 10^{-3}, \quad (2.12)$$

где  $M_p$  – расчетный изгибающий момент, кН·м;

$N_p$  – расчетная перерезывающая сила, кН;

$J$  – момент инерции поперечного сечения эквивалентного бруса,  $\text{м}^4$ ;

$Z_i$  – отстояние  $i$ -й связи от нейтральной оси, м;

$S$  – статический момент части поперечного сечения эквивалентного бруса, расположенного выше или ниже нейтральной оси, определенный для этой оси,  $\text{м}^3$ ;

$\sum t$  – сумма толщин обшивки бортов и продольных переборок на уровне нейтральной оси эквивалентного бруса, м.

#### 2.4. Выбор допускаемых напряжений

При проверке прочности жестких связей эквивалентного бруса, участвующих только в общем изгибе и не несущих местной нагрузки (продольных непрерывных комингсов, связей ненагруженных палуб и т.п.), допускаемые нормальные напряжения от общего изгиба в долях от предела текучести должны приниматься, в зависимости от класса судна, равными:

класс «М»	$[\sigma] = 0,7\sigma_T$	при $\sigma_T = 240$ МПа
	$[\sigma] = 0,65\sigma_T$	при $\sigma_T = 300$ МПа
	$[\sigma] = 0,6\sigma_T$	при $\sigma_T = 400$ МПа
класс «О», «Р» и «Л»	$[\sigma] = 0,75\sigma_T$	при $\sigma_T = 240$ МПа
	$[\sigma] = 0,70\sigma_T$	при $\sigma_T = 300$ МПа
	$[\sigma] = 0,6\sigma_T$	при $\sigma_T = 400$ МПа

Допускаемые нормальные напряжения от общего изгиба жестких связей эквивалентного бруса, участвующих в общем изгибе и несущих местную нагрузку (связей нагруженных палуб и днища всех судов), берутся равными  $[\sigma] = 0,6\sigma_T$ .

Допускаемые касательные напряжения в связях, воспринимающих действие перерезывающей силы при общем изгибе, принимаются равными

$$[\tau] = 0,3\sigma_\delta. \quad (2.13)$$

Общая продольная прочность корпуса судна считается обеспеченной, если во всех расчетных случаях нормальные и касательные напряжения не превышают допускаемых.

Рассмотренная схема общей прочности предусматривает наличие спроектированного каким-либо способом эквивалентного бруса, т.е. носит проверочный характер. Во многих случаях размеры продольных связей эквивалентного бруса являются неизвестными, и они должны быть спроектированы таким образом, чтобы возникающие в них напряжения от общего изгиба не превышали допускаемых. Для этого по величине расчетного момента сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса, определенного по формуле

$$W_p = \frac{M_p}{[\sigma]}, \quad (2.14)$$

должно быть произведено соответствующее распределение материала между продольными связями эквивалентного бруса. Оно может быть выполнено любым из аналитических методов, предложенных для проектирования корпусных конструкций.

### ***2.5. Общая продольная прочность по предельному состоянию***

Расчеты общей продольной прочности по предельному состоянию должны быть произведены во всех расчетных случаях, принятых при проверке общей прочности по допускаемым напряжениям. Условие предельного состояния для судов внутреннего плавания записывается в виде

$$\lambda_{i\sigma} \geq \hat{E} \lambda_{\sigma}, \quad (2.15)$$

где  $M_p$  – расчетный изгибающий момент при прогибе и перегибе, кН·м;

$M_{np}$  – предельный момент, равный изгибающему корпус судна моменту, при котором в наиболее удаленный от нейтральной оси точке эквивалентного бруса возникают растягивающие или сжима-

ющие напряжения, равные пределу текучести примененного материала. В тех случаях, когда корпус судна выполнен из разных сталей, имеющих неодинаковый предел текучести, предельный момент должен быть определен с учетом того, в какой из связей поперечного сечения корпуса напряжения, равные пределу текучести, возникают в первую очередь. При проверке предельной прочности судна должны определяться предельные моменты, соответствующие прогибу и перегибу судна. Их значения (кН·м) определяются по формуле

$$\lambda_{i\delta} = \sigma_0 W \cdot 10^3, \quad (2.16)$$

где  $\sigma_0$  – предел текучести материала наиболее удаленной от нейтральной оси точки эквивалентного бруса, МПа;

$W$  – момент сопротивления поперечного сечения эквивалентного бруса относительно наиболее удаленной от нейтральной оси точки, в которой напряжения равны пределу текучести, м<sup>3</sup>.

При вычислении момента сопротивления необходимо произвести редуцирование гибких связей, принимая напряжения на одной из кромок эквивалентного бруса, равными пределу текучести. Расчет производится методом последовательных приближений до тех пор, пока разность в напряжениях между конечным и предыдущим приближениях не будет превышать 5 %. Определение редуцированных коэффициентов пластин при продольной системе набора производится по формуле

$$\varphi = \frac{80}{|\sigma_{сж}|} \left( \frac{100t}{a} \right)^2, \quad (2.17)$$

где  $|\sigma_{сж}|$  – абсолютное значение сжимающего напряжения в жестких связях (МПа) на уровне центра тяжести пластины, полученного при расчете эквивалентного бруса в соответствующем приближении;

$t$  – толщина пластины, см;

$a$  – длина меньшей стороны пластины, см.

Определение редуцированных коэффициентов пластин при поперечной системе набора производится по таблице 2.2.

Таблица 2.2

Значения редуцированных коэффициентов  $\varphi$  при поперечной системе набора для проверки прочности по предельному состоянию

Вид деформации	Тип пластин	$\varphi$ при толщинах пластин, мм			
		4	6	8	10
Растяжение	Непосредственно воспринимающие поперечную нагрузку	0,20	0,40	0,52	0,58
	Непосредственно не воспринимающие поперечную нагрузку	0,05	0,20	0,31	0,35
Сжатие	Непосредственно воспринимающие и не воспринимающие поперечную нагрузку	0,03	0,07	0,07	0,07

При определении момента сопротивления сечения корпуса по предельному состоянию должны редуцироваться и сжатые жесткие связи корпуса (продольные балки палуб, платформ, днища, борта, настила второго дна и продольных переборок), у которых критические, т.е. исправленные с учетом изменения модуля нормальной упругости, Эйлеровы напряжения  $\sigma_e$  меньше напряжений в жестких связях  $\sigma_{ж}$ , возникающих при действии предельного момента. Редуцированный коэффициент этих связей должен определяться по формуле

$$\varphi = \frac{\sigma_y}{|\sigma_{\text{э}}|} \leq 1, \quad (2.18)$$

Коэффициент запаса прочности по предельному моменту  $K$ , независимо от марки применяемого материала, принимается равным 1,35 для кромки эквивалентного бруса, жесткие связи которой не несут местную нагрузку, и 1,50 – для кромки, жесткие связи которой несут местную нагрузку.

Для грузовых судов прочность корпуса по предельному моменту (кН·м) проверяется по условию

$$\dot{I}_{i\delta} > K_{ip} DL, \quad (2.19)$$

где  $K_{ip}$  – коэффициент предельного момента, определяемый по таблице 2.3;

$D$  – водоизмещение судна, т.

Таблица 2.3

Значения коэффициента предельного момента  $K_{ip}$

Тип судна	$K_{ip}$ при длине судна, м				
	20	60	80	100	140
Грузовые самоходные	0,68	0,55	0,40	0,32	0,28
Сухогрузные несамоходные	0,56	0,43	0,28	0,21	0,18
Наливные баржи	0,48	0,32	0,20	0,15	0,12

### 3. РАЗМЕРЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА

#### 3.1. Конструкция рамных балок

Рамные балки набора корпуса состоят из стенки и двух поясков. Во многих случаях одним из поясков, называемым присоединенным, является обшивка, а другим пояском, называемым свободным – полка или фланец. Присоединение тавра к обшивке образует двутавровый профиль, состоящий из двух неодинаковых поясков и стенки, рисунок 3.1.

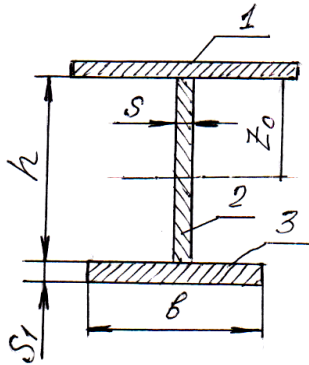


Рисунок 3.1 – Схема двутаврового профиля:  
1 – присоединенный пояс; 2 – стенка; 3 – полка

Высота таврового профиля должна быть согласована с высотой пересекающихся с ним холостых балок. Толщина стенки профиля  $S$  должна быть равна толщине обшивки или настила, к которым стенка прилегает. Эта толщина может быть уменьшена по сравнению с толщиной обшивки на 1–2 мм при толщине обшивки не менее 5 мм и на 2–3 мм по сравнению с утолщенным настилом внутреннего дна или палубы. При толщине обшивки 5 мм и менее толщина стенки должна быть равна толщине обшивки.

В практических случаях высоту профиля  $h$  выбирают из соотношения

$$h/S = m, \quad (3.1)$$

где  $m = 80$ .

Таким образом, исходя из (3.1) высота стенки равна 80 толщинам обшивки или 80 толщинам стенки профиля.

Толщина приваренного свободного пояска принимается равной 1,25–1,75 толщины ее стенки, т.е.

$$S_1 = (1,25 \div 1,75) S, \quad (3.2)$$

Ширину отогнутого фланца или приваренного несимметричного свободного пояска следует принимать в пределах (8–12) их толщины.

Ширина симметричного свободного пояска должна приниматься в пределах 15–25 его толщин.

Рамные балки в большинстве конструкций пересекаются с холостыми балками, для прохождения которых в стенках рамок балок делают вырезы.

Такие вырезы ослабляют стенку рамных балок. Для предотвращения повреждений стенок рамных балок высота вырезов ограничивается Правилами Регистра в 40 % высоты балки  $h$ .

Исходя из этого требования у таких балок

$$h_p \geq 2,5 h_o, \quad (3.3)$$

где  $h_p$  – высота рамной балки;

$h_o$  – высота холостой балки, пересекающейся с данной рамной балкой.

### 3.2. Подкрепление стенок рамных балок

Стенка рамного набора при отношении высоты к толщине стенки

$$h/S > 80, \quad (3.4)$$

а также ослабленные вырезом стенки высотой более 500 мм должны быть подкреплены вертикальными или горизонтальными ребрами жесткости (рисунок 3.2) с соблюдением следующих условий:

1. Высота вертикальных подкрепляющих ребер должна быть не менее 10 % высоты стенки. Значение момента инерции поперечного сечения вертикальных ребер жесткости  $J_B$ , см<sup>4</sup> должна быть не менее

$$J_B = \gamma a S^3, \quad (3.5)$$

где  $\gamma$  – коэффициент, определяемый по таблице 3.1;

$a$  – расстояние между подкрепляющими ребрами жесткости, см, которое не должно превышать высоту стенки балки  $h$ ;

$S$  – толщина стенки балки.

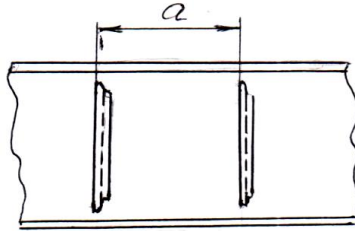


Рисунок 3.2 – Подкрепление рамной связи вертикальными ребрами

Таблица 3.1

$h/a$	1,0 и менее	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	3,0	4,0
$\gamma$	0,3	0,6	1,3	2,0	2,9	4,0	8,3	17,6

2. Момент инерции поперечного сечения горизонтальных подкрепляющих ребер с присоединенным пояском  $J_r$ , см<sup>4</sup>, должен быть не менее, (рисунок 3.3)

$$J_r = 5,1 \cdot 10^{-7} R_{ef} l^2 a S, \quad (3.6)$$

где  $R_{en}$  – предел текучести материала ребра;

$l$  – длина подкрепляющего ребра, см;

$a$  – расстояние между подкрепляющими ребрами, см.

3. Ребра допускается выполнять из полосы, если отношение их высоты к толщине не превышает 10.

В любом случае высота ребра должна быть не менее 50 мм, толщина – не менее 0,8 толщины подкрепляемой стенки.

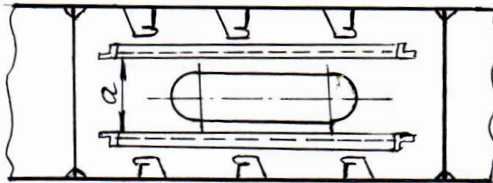


Рисунок 3.3 – Подкрепление рамных связей горизонтальными ребрами



### 3.3. Проектирование кницных соединений

Соединение балок набора корпуса для образования замкнутых конструкций основано на принципе совмещения связей в одной плоскости. Балки набора, стенки которых расположены в одной плоскости, соединяют кницами. Типы и размеры книц принимают в соответствии с Правилами Речного Регистра, рисунок 3.4.

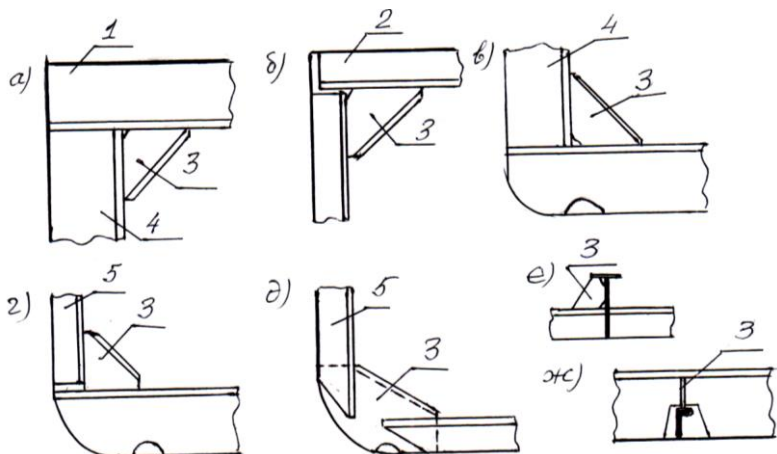


Рисунок 3.4 – Установка книц:

а, б – узел, бимс шпангоут, рамный и холостой соответственно; в, г, д – скуловые узлы рамных и холостых шпангоутов; е, ж – узлы пересечения продольных и поперечных связей; 1, 2 – бимсы рамный и холостой; 3 – кница; 4, 5 – шпангоуты рамный и холостой

Размеры книц определяют следующим образом: при соединении связей холостого набора кница должны перекрывать набор на протяжении не менее двух высот меньшего профиля, при соединении связей рамного набора – не менее одной высоты меньшего профиля.

Толщина книц, соединяющих рамный и холостой набор, должна быть не менее толщины стенки меньшего профиля.

Кница и бракетты, размеры одной из привариваемых сторон которых более 35 толщин, должны иметь по свободной кромке приваренную полосу или фланец.

Ширину приваренной полосы по одну сторону от линии приварки или фланца принимают в пределах 8–12 их толщин.

В районах окончания палуб, платформ, настила второго дна, продольных переборок устанавливают кницы, уменьшающие концентрацию напряжений, рисунок 3.5.

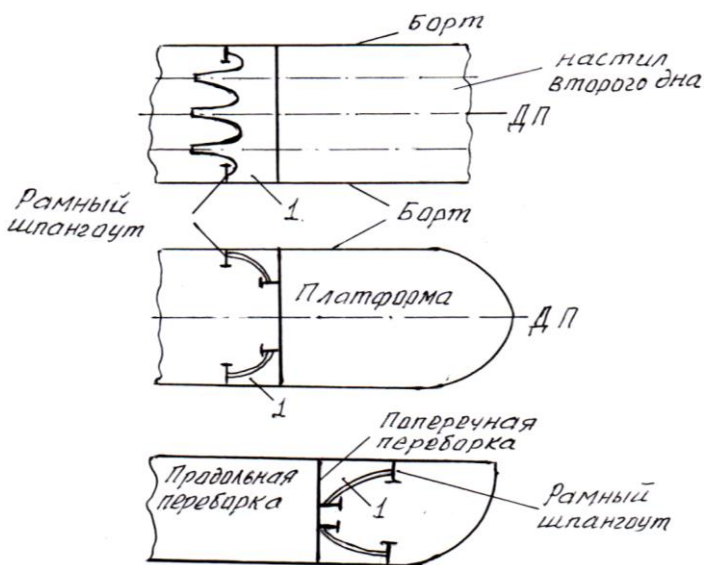


Рисунок 3.5 – Установка книц в районах окончания палуб, платформ и переборок: 1 – кница

## 4. НАБОР ДНИЩЕВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

### 4.1. Общие требования к проектированию днищевых перекрытий

Днищевое перекрытие включает в себя скуловую и днищевую части наружной обшивки и подкрепляющие ее балки: флоры, вер-

тикальный киль, кильсоны и продольные ребра жесткости. На судах с двойным дном сюда включается и настил двойного дна с подкрепляющим его набором.

На днищевые перекрытия действуют статические и динамические нагрузки: давление воды, силы тяжести от грузов и оборудования, силы инерции при качке. Большие нагрузки днище испытывает при постройке и ремонте судна, воспринимая реакции опорных устройств.

Выбор системы набора поперечной или продольной зависит в основном от уровня напряжений, действующих в сечениях элементов днища, включаемых в эквивалентный брус. При значительной величине этих напряжений выбирают продольную систему набора с двойным дном. Этот вариант позволяет обеспечить условия общей прочности и устойчивости при продольном изгибе судна.

На относительно небольших судах (буксирах, промысловых) двойное дно не ставится. На крупных судах двойное дно является обязательным, и оно выполняет следующие функции:

- повышает сохранность перевозимого груза от аварии, а машинное отделение от затопления;
- обеспечивает непотопляемость судна;
- предотвращает загрязнение окружающей среды при авариях;
- служит для размещения балластных цистерн и цистерн запасов;
- увеличивает момент сопротивления эквивалентного бруса и повышает устойчивость пластин.

#### *4.2. Нагрузки, действующие на днище*

Расчетную местную нагрузку задают давлением  $p$ , кПа, значение которой принимают равным наибольшему из значений, полученных по приводимым ниже формулам, где приняты:

$H_c$  – высота борта судна, м;

$T_{гр}$  – осадка судна в полном грузу в рассматриваемом сечении, м;

$T_{п}$  – осадка судна порожнем в рассматриваемом сечении, м;

$T_{б}$  – осадка судна в балласте в рассматриваемом сечении, м;

$h_6$  – высота балластной цистерны до верха воздушной трубы, м;

$h_{ш}$  – высота расширительной шахты грузового отсека наливного судна, м;

$h_k$  – напор водяного столба, м, соответствующий избыточному давлению, на которое сконструирован и рассчитан дыхательный клапан в газоотводных трубах;

$r$  – полувысота расчетной волны, м;

$q_{гр}$  – давление груза или топлива, кПа, без учета неравномерности его распределения.

Расчетную нагрузку на днище, за исключением оконечностей, определяют по формулам:

1. Для холостого набора и обшивки всех отсеков и для рамного набора отсеков, не испытывающих противодействия груза (суда-площадки, отсеки машинных отделений, жилые отсеки пассажирских и буксирных судов и др.):

$$\check{\sigma} = 9,81(\check{Q}_{\text{ао}} + r), \quad (4.1)$$

$$\check{\sigma} = 9,81(\check{Q}_i + r), \quad (4.2)$$

$$\check{\sigma} = 9,81(\check{Q}_a + r). \quad (4.3)$$

2. Для рамного набора грузовых трюмов сухогрузных судов и грузовых отсеков наливных судов при плавании судна в грузу

$$\check{\sigma} = q_{\text{ао}} - 9,81(\check{Q}_{\text{ао}} - r), \quad (4.4)$$

или

$$\check{\sigma} = 9,81(0,5\check{Q}_{\text{ао}} + r). \quad (4.5)$$

Если судно допускается к плаванию с балластом в двойном дне,

$$\check{\sigma} = 9,81(h_d - (\check{Q}_d - r)). \quad (4.6)$$

Если судно допускается к плаванию порожнем с балластом вне двойного дна,

$$\check{\sigma} = 9,81(\check{Q}_a + r). \quad (4.7)$$

Если судно допускается к плаванию порожнем без балласта,

$$\bar{\sigma} = 9,81(\dot{Q}_1 + r). \quad (4.8)$$

3. Для холостого набора и обшивки днища грузовых отсеков наливных судов при плавании судна в грузу:

при отсутствии двойного дна

$$\bar{\sigma} = q_{\text{до}} - 9,81(\dot{Q}_{\text{до}} - r), \quad (4.9)$$

при наличии двойного дна,

$$\bar{\sigma} = 9,81(\dot{Q}_{\text{до}} + r). \quad (4.10)$$

Если судно допускается к плаванию порожнем без балласта,

$$\bar{\sigma} = 9,81(\dot{Q} + r). \quad (4.11)$$

Если судно допускается к плаванию порожнем с балластом вне двойного дна,

$$\bar{\sigma} = 9,81(\dot{Q}_a + r). \quad (4.12)$$

Если судно допускается к плаванию порожнем с балластом в двойном дне,

$$\bar{\sigma} = 9,81(h_a - (\dot{Q}_a - r)). \quad (4.13)$$

4. Для холостого набора и настила внутреннего дна сухогрузных и наливных судов при плавании в грузу

$$\bar{\sigma} = q. \quad (4.14)$$

#### ***4.3. Днищевой набор на судах без двойного дна при поперечной системе набора***

Такая система набора применяется на грузовых судах длиной менее 70 м, буксирах, судах технического флота, промысловых судах. Элементами днищевого набора является средний непрерывный

кильсон и боковые кильсоны, расстояние между которыми и бортом не должно превышать 2,5 м. Кильсоны должны быть протянуты дальше в нос и корму.

Расстояние между флорами принимается кратным шпации не должно превышать:

- для судов-площадок – 1,2 м;
- для пассажирских и наливных типов – 2,4 м;
- для судов остальных типов – 2 м.

Если флоры устанавливаются не на каждой шпации, между ними устанавливаются днищевые холостые шпангоуты (рисунок 1.3, а, рисунок 4.1).

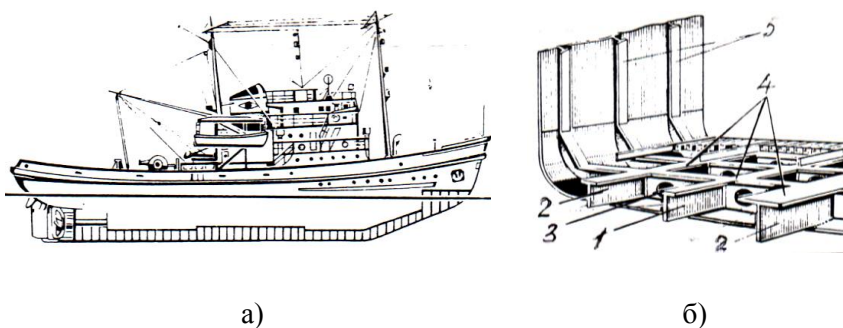


Рисунок 4.1 – Буксир-ледокол (а) и конструкция его одинарного дна (б):  
1 – средний кильсон; 2 – боковые кильсоны; 3 – флор;  
4 – пояска кильсона; 5 – шпангоуты

Схема днищевое перекрытия при поперечной системе набора приведена на рисунке 4.2.

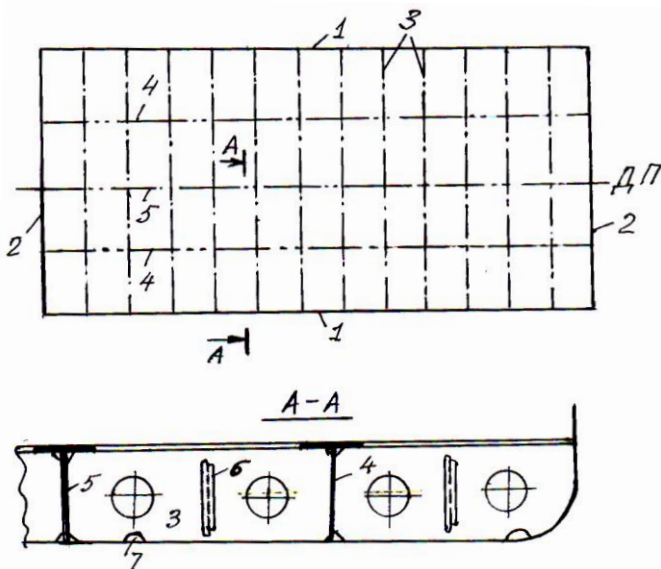


Рисунок 4.2 – Схема днищевого перекрытия при поперечной системе набора:

- 1 – борта; 2 – поперечная переборка; 3 – флоры; 4 – боковые кильсоны;  
5 – средний кильсон; 6 – ребро жесткости флора; 7 – голубница

Момент сопротивления поперечного сечения флора с присоединенным пояском  $W$ ,  $\text{см}^3$ , определяют по формуле

$$W = 4,2 \cdot K_1 \cdot K_2 d_1 \cdot B_1^2 (T + r + m), \quad (4.15)$$

где  $K_1, K_2$  – коэффициенты, определяемые по таблице 4.1 и 4.2;

$d_1$  – расстояние между флорами, м;

$B_1$  – величина, принимаемая равной наибольшему расстоянию между продольными переборками (раскосными фермами) или между ними и бортом судна, м. При трех или четырех продольных переборках (раскосных фермах) значение  $B_1$  должно быть принято не менее  $\frac{\hat{A}}{3}$ , при пяти и более продольных переборках (раскосных фермах) – не менее  $\frac{\hat{A}}{4}$ .

При отсутствии продольных переборок (раскосных ферм)  $B_1$  принимают равным  $B$ .

$T$  – максимальная осадка судна в рассматриваемом сечении, м;

$r$  – полувысота расчетной волны, м;

$m$  – величина, м, принимаемая равной:

для судов классов «М» и «О» 0,6;

для судов классов «Р» и «Л» – 0,9.

Таблица 4.1

1 кильсон			3 кильсона и более		
$L_1 / \hat{A}_1$	$K_1$		$L_1 / \hat{A}_1$	$K_1$	
	При наличии рамных шпангоутов	При отсутствии рамных шпангоутов		При наличии рамных шпангоутов	При отсутствии рамных шпангоутов
0,7	0,8	0,9	0,7	0,55	0,65
0,8	0,9	1,0	0,9	0,60	0,70
0,9 и более	1,0	1,0	1,1	0,65	0,75
Примечание. $L_n$ – расстояние между поперечными переборками или раскосными фермами, м			1,3	0,70	0,8
			1,5	0,75	0,9
			1,7	0,80	1,0
			1,9	0,90	1,0
			2,1 и более	1,0	1,0

Таблица 4.2

$\hat{A}_1 / l$	$K_2$	
	При наличии рамных шпангоутов или рамных стоек продольных переборок в плоскости каждого флора	При отсутствии рамных шпангоутов или рамных стоек продольных переборок в плоскости каждого флора
1	0,9	1
2	0,6	
3 и более	0,5	



Момент сопротивления поперечного сечения днищевого холо-  
стого шпангоута с присоединенным пояском,  $\text{см}^3$  должен быть не  
менее

$$W = 7,5ac_1^2 (T + r + m), \quad (4.16)$$

где  $a$  – шпация, м;

$c_1$  – наибольшее расстояние между кильсонами или между киль-  
сонами и продольной переборкой (бортом), м;

$T, r, m$  – принимать согласно (4.15).

Момент сопротивления поперечного сечения среднего и боково-  
го кильсонов должно быть не менее момента сопротивления, требу-  
емого для флоров.

Расстояние между кильсонами, а также между кильсонами и бор-  
том или продольной переборкой не должно превышать 2,5 м.

#### **4.4. Днищевой набор на судах без двойного дна при продольной системе набора**

Конструкция одинарного дна при продольной системе набора  
приведена на рисунке 4.3.

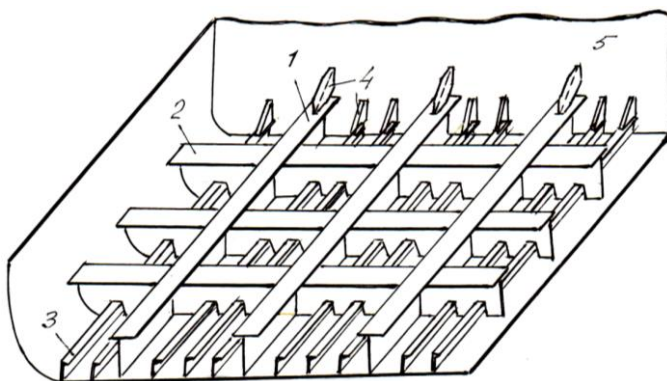


Рисунок 4.3 – Одинарное дно при продольной системе набора:  
1 – кильсон; 2 – флор; 3 – продольная балка; 4 – кницы;  
5 – поперечная переборка

Днищевой набор таких судов состоит из продольных балок, идущих по наружной обшивке и высоких флоров. Продольные балки опираются на эти флоры и поперечные переборки, а флоры – на продольные переборки и борта. Продольные блоки днищевого набора пропускают вдоль судна или их разрезают и приваривают к поперечным переборкам.

Момент сопротивления поперечного сечения ребра жесткости днища с присоединенным пояском, см<sup>3</sup>, должен быть не менее

$$W = 7,5ad_1^2 (T + r + m), \quad (4.17)$$

где  $a$  – шпация, м;

$d_1$  – расстояние между флорами, м;

$T, r, m$  – принимать согласно (4.15).

#### ***4.5. Днищевой набор в отсеках с двойным дном при поперечной системе набора***

Варианты двойного дна для сухогрузного судна приведены на рисунке 4.4.

В соответствии с требованиями Правил Регистра высота междудонного пространства  $h$ , в зависимости от длины судна, принимается следующей:

– при  $L \leq 120$  м  $h = 0,8$  м;

– при  $L > 120$  м  $h = 0,9$  м.

Расстояние между флорами принимается кратным шпации и не должно превышать:

– для сухогрузных судов в пределах грузовых люков – 1,8 м;

– для пассажирских и наливных судов – 2,4 м;

– для сухогрузных судов вне пределов грузовых люков и судов остальных типов – 2 м.

На всех судах в отсеках с двойным дном устанавливается непрерывный средний кильсон и при необходимости боковые кильсоны.

Расстояние между кильсонами, а также между кильсонами и бортом или продольной переборкой не должно превышать 3 м.

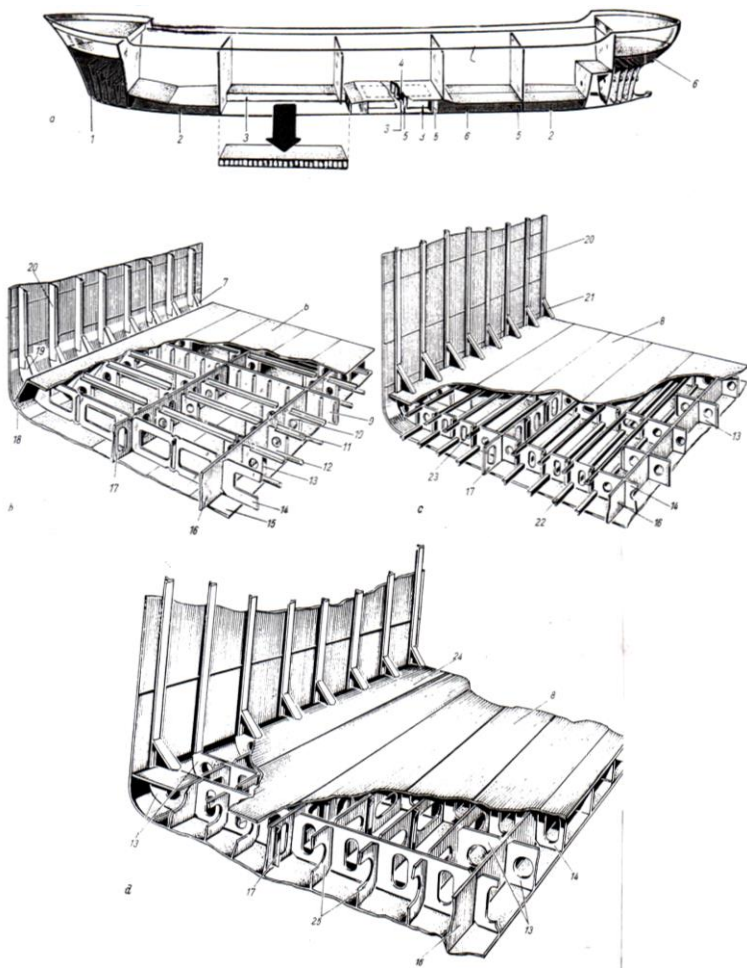


Рисунок 4.4 – Двойное дно:

а – разделение двойного дна; б – двойное дно со сплошными и бракетными флорами; с – двойное дно с продольным набором (а продольными ребрами жесткости); д – двойное дно с днищевыми стрингерами; 1 – балластная вода (форпик); 2 – балластная вода (двойное дно); 3 – топливо; 4 – смазочное масло; 5 – коффердам; 6 – пресная вода; 7 – полка скуловой кницы; 8 – настил второго дна; 9 – водонепроницаемый флор; 10 – открытый бракетный флор; 11 – верхний угольник флора; 12 – нижний угольник флора; 13 – бракетки; 14 – сплошной флор; 15 – горизонтальный киль; 16 – вертикальный киль; 17 – бортовой стрингер; 18 – скуловой стрингер; 19 – скуловая кница; 20 – трюмные шпангоуты; 21 – скуловая кница; 22 – днищевые продольные балки; 23 – продольные балки второго дна; 24 – крайний междулонный лист; 25 – днищевые стрингеры

Конструктивно флоры делятся на водонепроницаемые, сплошные и бракетные (рисунок 4.5).

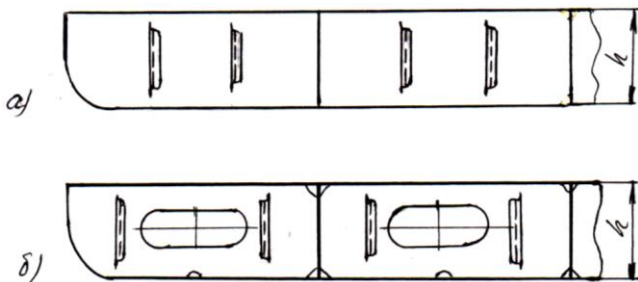


Рисунок 4.5 – Водонепроницаемый (а) и сплошной (б) флоры

Если флоры расположены не на каждой шпации, между ними устанавливают бракетные флоры. Конструктивное устройство бракетных флоров приведено на рисунке 4.6.

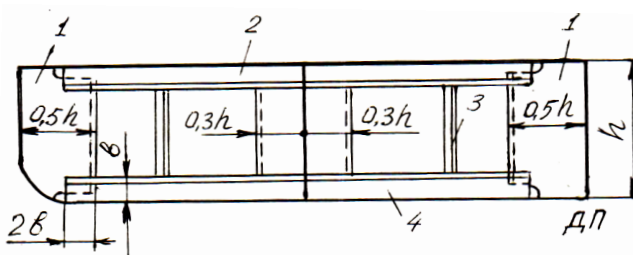


Рисунок 4.6 – Бракетный флор:

- 1 – бракета; 2 – верхняя балка флора; 3 – распорка;
- 4 – нижняя балка флора

Бракетные флоры состоят из верхних и нижних непрерывных балок, соединенных у кильсонов (продольных переборок) и у скулы.

Между бракетами допускается установка распорок, соединяющих верхнюю и нижнюю балки бракетного флора и делящих пролет бракетного флора пополам.

Площадь поперечного сечения распорки принимается равной площади поперечного сечения меньшей из балок бракетного флора.

Момент сопротивления поперечного сечения с присоединенным пояском нижней балки бракетного флора, см<sup>3</sup>, должен быть не менее

$$W = 7,5 K_0 a c_1^2 (T + r + m). \quad (4.18)$$

Момент сопротивления поперечного сечения с присоединенным пояском верхней балки бракетного флора, см<sup>3</sup>, должен быть не менее

$$W = 7,5 K_0 a c_1^2 H_c. \quad (4.19)$$

В этих формулах:

$K_0$  – коэффициент, принимаемый равным:

при отсутствии распорки – 1;

при наличии распорки – 0,5;

$a$  – шпация, м;

$c_1$  – наибольшее расстояние между внутренними кромками бракет, м;

$T$  – максимальная осадка судна в рассматриваемом сечении, м;

$H_c$  – высота борта в рассматриваемом сечении, м.

#### ***4.6. Днищевой набор в отсеках с двойным дном при продольной системе набора***

Основные элементы днищевого набора при продольной системе: средний и боковые кильсоны, продольные балки, идущие в одной вертикальной плоскости по днищу и настилу двойного дна и флоры. Опорами для продольных балок являются сплошные флоры, устанавливаемые не более, чем через 4 шпации, в зависимости от типа судна.

Схема продольной системы днищевого набора приведена на рисунке 4.4, с.

Непроницаемые флоры устанавливаются, как правило, под водонепроницаемыми переборками и в местах, где необходимо разделение отсеков двойного дна. На рисунке 4.7 показана конструкция непроницаемого и сплошного флора.

Флоры должны крепиться к рамным шпангоутам и к рамным стойкам продольных переборок кницами. В стенках кильсонов и флоров предусматриваются отверстия для протока воды.

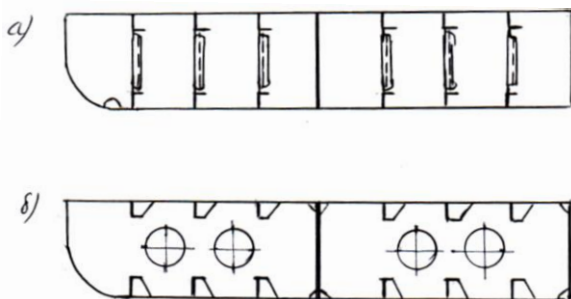


Рисунок 4.7 – Непроницаемый (а) и сплошной (б) флоры при продольной системе набора

Продольные балки проходят через вырезы во флорах и крепятся к ним. При этом отверстия во флорах на сплошных флорах остаются, а на непроницаемых – обвариваются по периметру сечения продольной балки или при помощи приварки специальной кницы, рисунок 4.8, рисунок 4.9.

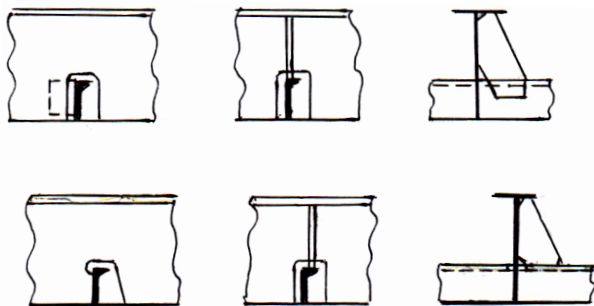


Рисунок 4.8 – Варианты соединения продольных балок с флорами

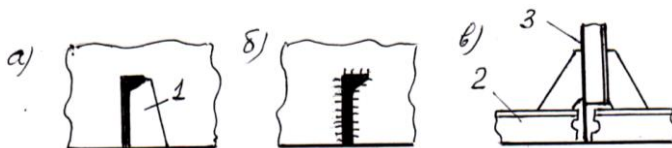


Рисунок 4.9 Соединение продольных балок на водонепроницаемых переборках:  
 а – обварка вырезов для прохода продольных балок с дополнительной планкой;  
 б – обварка без дополнительной планки; в – на водонепроницаемых переборках  
 (1 – кница; 2 – продольная балка; 3 – водонепроницаемая переборка)

Момент сопротивления поперечного сечения продольных ребер жесткости днища с присоединенным пояском, см<sup>3</sup>,

$$W = 7,5 K_0 a d_1^2 (T + r + m). \quad (4.20)$$

где  $T$  – максимальная осадка судна в рассматриваемом сечении, м;

$a$  – шпация, м;

$d_1$  – расстояние между флорами, м.

Момент сопротивления поперечного сечения продольных ребер жесткости второго дна с присоединенным пояском, см<sup>3</sup>, должен быть не менее

$$W = 7,5 K_0 a d_1^2 I_n, \quad (4.21)$$

где  $H_c$  принимать по (4.19).

На судах, предназначенных для перевозки навалочных грузов момент сопротивления поперечного сечения верхних балок бракетных флоров  $W_1$ , см<sup>3</sup>, и продольных ребер жесткости второго дна  $W_2$ , см<sup>3</sup>, с присоединенным пояском в пределах грузовых люков должен быть не менее

$$W_1 = 91 a c_1, \quad (4.22)$$

где  $a$ ,  $c_1$  принимать по (4.19),

$$W_2 = 91 a d_1, \quad (4.23)$$

где  $a$ ,  $d_1$  принимать по (4.19).

При установке в двойном дне распорок значения  $W_1$  и  $W_2$  могут быть уменьшены на 30 %.

#### **4.7. Конструкция двойного дна**

В настиле двойного дна устраивают овальные или круглые лазы для доступа в междудонное пространство. Овальные лазы имеют минимальный размер 350x450 мм, круглые – диаметр 380 мм. Однако, через такое отверстие пролезать затруднительно, поэтому размеры вырезов увеличивают, и на речных судах наиболее распространен вырез 400x600 мм.

Лазы оборудуются водонепроницаемыми горловинами и надежно скрепляются болтами или шпильками с комингсами или обделкой горловин. Между комингсами горловин и крышкой укладывается резиновая или другая прокладка для обеспечения непроницаемости. Параметры горловин и технические требования к ним определяются по ГОСТ 2021-84.

Сточные воды в отсеках собираются в льялах. Для осушения в них устраивают приемники осушительной системы. Число и расположение их выбирают в зависимости от формы и размеров отсеков. Большинство отсеков оборудуются не менее чем двумя осушительными приемниками (рисунок 4.10). Располагаются они, как правило, у кормовых переборок носовых отсеков и носовых переборок кормовых отсеков.

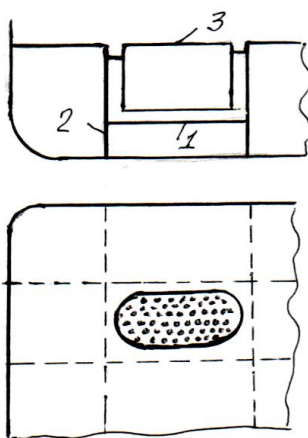


Рисунок 4.10 – Сточный колодец:  
1 – дно колодца; 2 – стенка колодца; 3 – сетка

Отсеки судна оборудуются воздушными и измерительными трубами. Воздушная трубка предназначена для полного удаления воздуха при заполнении отсеков и предупреждения образования вакуума при его опорожнении. Воздушные трубки выводятся из самой верхней части отсека. Количество их и расположение зависит от формы и размеров отсеков.



Концы воздушных труб устраивают так, чтобы исключалась возможность попадания в них атмосферных осадков, забортной воды и грязи. Наиболее распространенным способом является изгиб труб на  $180^{\circ}$  так, чтобы конец трубы был направлен вниз к палубе. В данном случае конец воздушной трубы называют «гуськом».

Концы труб выводятся выше палубы на 100–800 мм. Площадь сечения воздушных труб должна быть не менее 1,25 площади сечения наливного трубопровода. Во всех случаях внутренний диаметр воздушных трубок для водяных цистерн выполняется не менее 40 мм, а для топливных – не менее 80 мм.

Измерительные трубы, предназначенные для замера количества жидкости в отсеке, выводятся по прямой линии из наиболее глубоких мест отсека в доступные для замеров места на открытую палубу. Выходные отверстия этих труб оборудуются герметическими пробками (втулками) из нержавеющей металла.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бочков, Б.Ф. Конструкция судов внутреннего и смешанного плавания / Б.Ф. Бочков. – Горький, 1980. – 84 с.
2. Допатка, Р. Книга о судах / Р. Допатка, А. Перепечко. – Л.: Судостроение, 1981. – 207 с.
3. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания: Речной Регистр РСФСР. – М.: Транспорт, 1989. Ч. II. – 219 с.
4. Протопопов, В.Б. Конструкция корпуса судов внутреннего и смешанного плавания: учебник / В.Б. Протопопов, О.И. Свечников, Н.М. Егоров. – Л.: Судостроение, 1984. – 376 с. ил.
5. Свечников, О.И. Расчет и проектирование конструкций судов внутреннего плавания / О.И. Свечников, И.И. Трянин. – СПб.: Судостроение, 1994. – 376 с.
6. Шатило, С.Н. Основы теории и устройство судов внутреннего плавания / С.Н. Шатило. – Гомель: БелГУТ, 2004. – 261 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ, ВЫБОР МАТЕРИАЛА И ШПАЦИИ	4
1.1. Определения и пояснения	4
1.2. Область распространения	5
1.3. Материалы	6
1.4. Выбор толщин связей корпуса	11
1.5. Выбор шпации	15
1.6. Выбор системы набора корпуса	15
1.7. Сварные соединения	19
2. ОБЩАЯ ПРОДОЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ПО ДОПУСКАЕМЫМ НАПРЯЖЕНИЯМ И ПО ПРЕДЕЛЬНОМУ СОСТОЯНИЮ	27
2.1. Дополнительный волновой изгибающий момент	28
2.2. Определение дополнительной волновой перерезывающей сил	30
2.3. Определение нормальных и касательных напряжений в сечении эквивалентного бруса	31
2.4. Выбор допускаемых напряжений	32
2.5. Общая продольная прочность по предельному состоянию	33
3. РАЗМЕРЫ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КОРПУСА	37
3.1. Конструкция рамных балок	37
3.2. Подкрепление стенок рамных балок	38
3.3. Проектирование кничных соединений	40
4. НАБОР ДНИЩЕВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ	42
4.1. Общие требования к проектированию днищевых перекрытий	42
4.2. Нагрузки, действующие на днище	42
4.3. Днищевой набор на судах без двойного дна при поперечной системе набора	45
4.4. Днищевой набор на судах без двойного дна при продольной системе набора	48
4.5. Днищевой набор в отсеках с двойным дном при поперечной системе набора	49
4.6. Днищевой набор в отсеках с двойным дном при продольной системе набора	52
4.7. Конструкция двойного дна	54
Литература	57

Учебное издание

ХМЕЛЕВ Александр Афанасьевич

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО  
МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТА СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

Методическое пособие  
для студентов специальности 1-37 03 02  
«Кораблестроение и техническая эксплуатация  
водного транспорта»

В 4 частях

Часть 1

Технический редактор О.В. Дубовик  
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

---

Подписано в печать 30.04.2010.

Формат 60×84<sup>1/16</sup>. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 3,43. Уч.-изд. л. 2,68. Тираж 50. Заказ 273.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.