



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Кораблестроение и гидравлика»

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

Методическое пособие

Часть 4

**Минск
БНТУ
2017**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Кораблестроение и гидравлика»

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

Ч а с т ь 4

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области транспорта и транспортной деятельности*

Минск
БНТУ
2017

УДК 629.55.01(075.8)

ББК 39.42я7

X65

Авторы части:

А. А. Хмелёв, В. В. Власов

Рецензенты:

начальник управления морского и речного транспорта
Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь

А. Н. Чернобылец;

начальник отдела «Белпромстройпроект» *В. Г. Астахов*

Хмелёв, А. А.

X65 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. Ч. 4 / А. А. Хмелёв, В. В. Власов. – Минск : БНТУ, 2017. – 31 с.

ISBN 978-985-550-589-2 (Ч. 4).

Методическое пособие составлено в соответствии с программой дисциплины «Конструкция корпусов судов», читаемой студентам-корабелам на факультете энергетического строительства Белорусского национального технического университета.

Основное назначение методического пособия – помощь студентам-корабелам специальности 1-37 03 02 «Кораблестроение и техническая эксплуатация водного транспорта» при проведении расчетов и выполнении курсовых и дипломных проектов.

Издается с 2010 г. Часть 3 (автор А. А. Хмелёв) вышла в 2013 г.

Часть 4 подготовлена в соавторстве с В. В. Власовым.

УДК 629.55.01(075.8)

ББК 39.42я7

ISBN 978-985-550-589-2 (Ч. 4)

ISBN 978-985-525-367-0

© Хмелёв А. А., Власов В. В., 2017

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

Введение

Настоящая часть методического пособия является примером конкретного проектирования, по Правилам Речного регистра РФ 1995 г. (далее – Правила), конструктивного мидель-шпангоута сухогрузного транспортного судна класса «О» водоизмещением 2620 т. Продольный разрез такого судна с указанием главных его частей и отсеков приведен на рисунке 1.

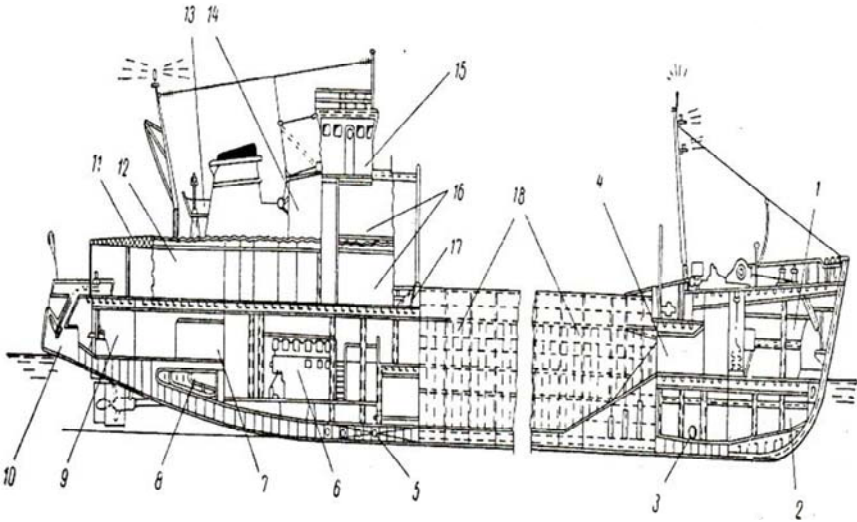


Рисунок 1. – Продольный разрез открытого судна, схематический боковой вид:

- 1 – шкиперская; 2 – балласт; 3 – подруливающее устройство; 4 – кладовая;
- 5 – дизельное топливо; 6 – машинное отделение; 7 – цистерны подсланевых вод;
- 8 – балласт; 9 – румпельное отделение; 10 – ниша для якоря; 11 – тент;
- 12 – кают-компания; 13 – спасательная шлюпка; 14 – аппаратная;
- 15 – рулевая рубка; 16 – каюта; 17 – комингс грузового люка;
- 18 – грузовой трюм

Для наглядного сравнения и выявления признаков подобия и отличия от проектируемого судна близкое по водоизмещению судно класса «М» в виде схемы продольного разреза и планов верхней палубы и платформы приведено на рисунке 2.

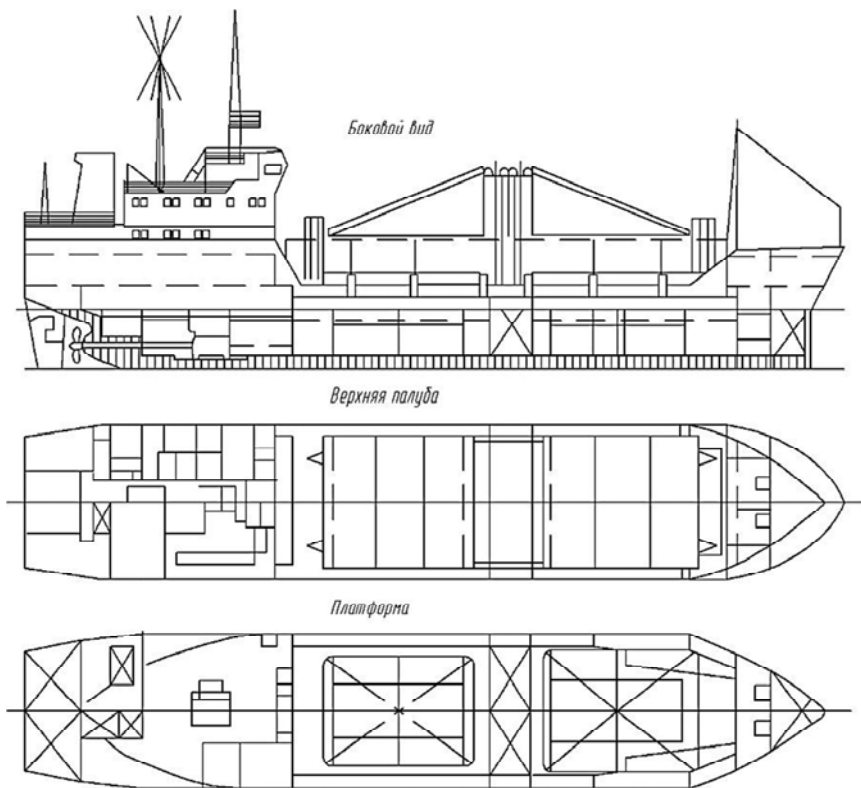


Рисунок 2. – Универсальное сухогрузное судно грузоподъемностью 1500 т

Пример

Спроектировать конструктивный мидель-шпангоут сухогрузного трюмного судна класса «О» водоизмещением $D = 2600$ т со следующими главными размерениями:

расчетная длина $L = 90$ м;

ширина $B = 13$ м;

высота борта $H = 4,8$ м;

осадка $T = 2,8$ м;

коэффициент общей полноты $\delta = 0,8$;

коэффициент площади мидель-шпангоута $\beta = 0,99$;

коэффициент площади ватерлинии $\alpha = 0,9$.

Водоизмещение судна

$$V = \rho \delta L B T = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 90 \cdot 13 \cdot 2,8 = 2620,8 \text{ т.}$$

12. ВЫБОР ШПАЦИИ И КОМПОНОВКА ОБЩЕГО РАСПОЛОЖЕНИЯ

В соответствии с требованиями пункта 2.4.1.2 Правил Речного регистра шпация должна приниматься не более 650 мм, а рекомендуемая шпация $a = 550$ мм.

Принимаем $a = 550$ мм.

Проверяем число шпаций на длине $L = 90$ м:

$$n = \frac{90}{0,55} = 163,6 \text{ шпации.}$$

Принимаем $n = 164$ шпации. $L = 164 \cdot 0,5 = 90,2$ м.

Максимальная длина

$$L_{\max} = L \cdot 1,035 = 90 \cdot 1,035 = 93,15 \text{ м.}$$

Длина носовой выступающей части $l_{н.ч} = 2,5$ м.

Длина кормовой выступающей части $l_{к.ч} = 0,65$ м.

12.1. Носовая и кормовая части судна

Длина форпика принимается равной половине ширины судна:

$$l_{\text{ф}} = \frac{B}{2} = \frac{13}{2} = 6,5 \text{ м.}$$

Принимаем длину форпика равной 12 шпациям:

$$l_{\text{ф}} = 12a = 12 \cdot 0,55 = 6,6 \text{ м.}$$

Длина ахтерпика

$$l_{\text{ах}} = l_{\text{ф}} - (1...2)a = 6,6 - (1...2) \cdot 0,55 = 6,05...5,5 \text{ м.}$$

Принимаем длину ахтерпика равной 10 шпациям:

$$l_{\text{ах}} = 10a = 10 \cdot 0,55 = 5,5 \text{ м.}$$

Длину машинного отделения принимают по прототипу или определяют по формуле

$$l_{\text{м.о}} = (15...16)\%L = (0,15...0,16) \cdot 90,2 = 13,53...14,43 \text{ м.}$$

Определяем число шпаций на длине машинного отделения:

$$\frac{13,53...14,43}{0,55} = 24,6...26,2 \text{ шпации.}$$

Принимаем длину машинного отделения равной 25 шпациям:

$$l_{\text{м.о}} = 25 \cdot 0,55 = 13,75 \text{ м.}$$

Длина топливной цистерны

$$l_{\text{т.ц}} = (3...6)a = 0.$$

Располагаем цистерну в объеме двойного дна и машинного отделения.

Длина коффердама

$$l_{\text{к.ф}} = (1...2)a = (1...2) \cdot 0,55 = 0,55...1,1 \text{ м.}$$

Принимаем $l_{\text{к.ф}} = 0,55 \text{ м.}$

Определяем общую длину трюмов:

$$\begin{aligned} l_{\text{тр}} &= L - l_{\text{ф}} - l_{\text{ак}} - l_{\text{м.о}} - l_{\text{к.ф}} = \\ &= 90,2 - 6,6 - 5,5 - 13,75 - 0,55 = 63,8 \text{ м.} \end{aligned}$$

Определяем число шпаций на длине $l_{\text{тр}}$:

$$n_{\text{шп}} = \frac{l_{\text{тр}}}{0,55} = \frac{63,8}{0,55} = 116 \text{ шпаций.}$$

Разделяем общую длину трюмов на три отдельных трюма с числом шпаций в каждом из них:

$$n_{\text{шп}} = \frac{116}{3} = 39 \text{ шпаций.}$$

Длина каждого из трех трюмов

$$l_{\text{тр}} = n_{\text{шп}}a = 39 \cdot 0,55 = 21,45 \text{ м.}$$

Более удобный вариант – судно с тремя трюмами.

Длину двух трюмов, расположенных в кормовой части судна, принимаем равной 40 шпациям, а длина трюма в носовой части судна – 37 шпаций или

$$l_{\text{тр}} = 40 \cdot 0,55 = 22 \text{ м.}$$

Длина носового трюма

$$l_{\text{тр}} = 37 \cdot 0,55 = 20,35 \text{ м.}$$

12.2. Выбор количества и установка поперечных переборок

В соответствии с требованиями пункта 2.4.6.8 Правил на судне длиной 90,2 м должно быть установлено не менее пяти непроницаемых переборок, включая форпиковую и ахтерпиковую, машинного отделения. Дополнительно к указанным включаем переборку коффердама.

Схема общего расположения отсеков и переборок судна приведена на рисунке 12.1.

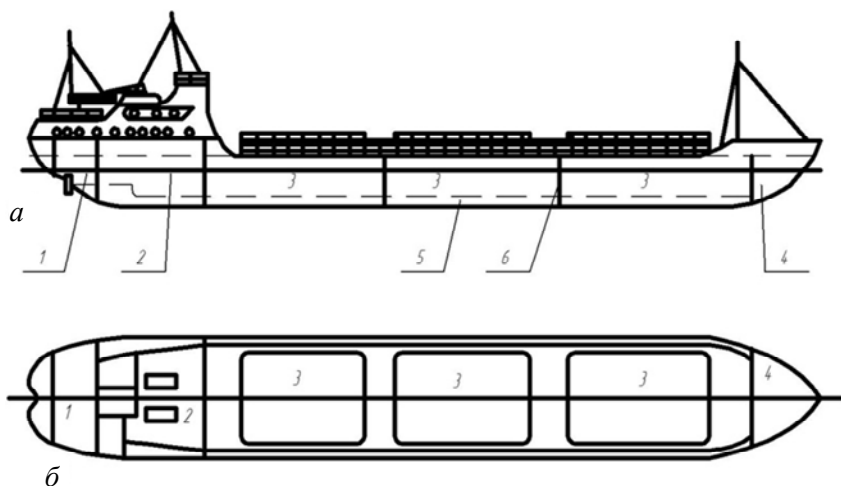


Рисунок 12.1. – Общее расположение помещений на сухогрузном судне:

а – боковой вид; *б* – трюм;

1 – ахтерпик; 2 – машинное отделение; 3 – грузовые трюмы;

4 – форпик; 5 – междудонное пространство;

6 – непроницаемые поперечные переборки

12.3. Выбор системы набора

Систему набора принимаем смешанную. Средняя часть бортового набора и оконечностей судна на длине трех трюмов набирается по поперечной системе при наличии двойного дна.

Палубный набор, набор двойного дна и днища производим по продольной системе.

13. ДНИЩЕВОЙ НАБОР СУДНА С ДВОЙНЫМ ДНОМ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НАБОРА

Высота междудонного пространства (п. 2.4.3.2 Правил) принимается равной 800 мм.

Расстояние между флорами в пределах грузовых трюмов принимается трехкратной величине шпации (п. 2.4.3.1 Правил):

$$A = 3a = 3 \cdot 0,55 = 1,65 \text{ м.}$$

Минимальная толщина листов флоров кильсонов (п. 2.4.3.4 и таблица 2.4.1.1 Правил) принимается равной 8 мм.

Толщина настила двойного дна для случаев, когда погрузка и разгрузка предусмотрена грейферами (п. 9 таблица 4.1.1):

$$S_{\text{н.д.д}} = 10 \text{ мм.}$$

Устанавливаем средний и по два боковых кильсона так, чтобы расстояние между ними и бортом не превышало 3 м (рисунок 13.1).

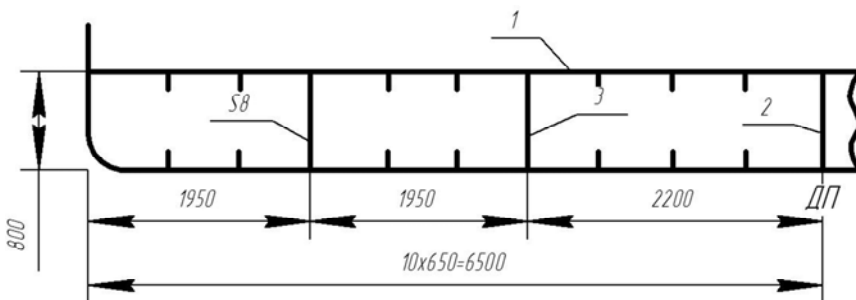


Рисунок 13.1. – Установка кильсонов по ширине судна и разбивка на продольные шпации:

1 – двойное дно; 2 – диаметральный кильсон; 3 – боковой кильсон

Толщина кильсона выбирается по таблице 2.4.1.1 Правил и принимается равной 8 мм (п. 22, таблица 4.1.1).

Так как днищевой набор предусматривает продольную систему набора, принимаем шпацию продольного набора $a_{\text{пр}} = 650$ мм, что соответствует пункту 2.4.1.2 Правил.

Конструктивная схема флора с пропущенными через него продольными ребрами жесткости днища и двойного дна приведена на рисунке 13.2.

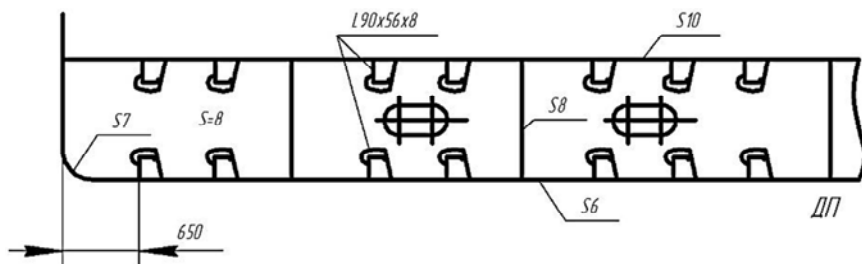


Рисунок 13.2. – Схема пересечения флора с продольными ребрами жесткости двойного дна и днища

Момент сопротивления поперечного сечения продольных ребер жесткости днища с присоединенным пояском должен быть не менее

$$W = 7,5k_0ad_1^2(T + r + m) =$$

$$= 7,5 \cdot 1,0 \cdot 0,55 \cdot 1,65^2 \cdot (2,8 + 1,0 + 0,6) = 49,41 \text{ см}^3,$$

где $k_0 = 1,0$;

$a = 0,55$ м – шпация;

$d = 0,55 \cdot 3 = 1,65$ – расстояние между флорами;

$T = 2,8$ м – осадка;

$r = 1$ м – полувысота волны;

$m = 0,6$.

Принимаем $L = 90 \times 56 \times 8$; $W = 55,5 \text{ см}^3$; $F = 11,2 \text{ см}^2$; расстояние ЦТ = 7,96 см; $I_x = 90,9 \text{ см}^4$.

Момент сопротивления поперечного сечения продольных ребер жесткости второго дна с присоединенным пояском должен быть не менее

$$W = 7,5k_0ad_1^2H_c = 7,5 \cdot 1,0 \cdot 0,55 \cdot 1,65^2 \cdot 4,8 = 53,9 \text{ см}^3.$$

Принимаем $L = 90 \times 56 \times 8$.

Толщину обшивки днища (таблица 2.4.1.1 Правил) определяем методом линейной интерполяции:

$$S = 6 + \frac{7-6}{60}(90,2 - 80) = 6,17 \text{ мм.}$$

$L, \text{ м}$	$S, \text{ мм}$
80	6
140	7

Принимаем толщину обшивки днища 6 мм.

Толщина скулового листа

$$S = 7 + \frac{1}{60}(90,2 - 80) = 7,17 \text{ мм.}$$

$L, \text{ м}$	$S, \text{ мм}$
80	7
140	8

Принимаем толщину скулового листа 7 мм.

14. БОРТОВЫЙ НАБОР

Бортовой набор набирается по поперечной системе набора. Расстояние между рамными шпангоутами принимается равным расстоянию между флорами, т. е. трем шпациям. Получаем схему набора $PxxP$, т. е. рамный, холостой, холостой и рамный шпангоуты, где d_1 находится по формуле

$$d_1 = 3a = 3 \cdot 0,55 = 1,65 \text{ м},$$

где d_1 – расстояние между рамными шпангоутами.

Момент сопротивления поперечного сечения рамного шпангоута с присоединенным пояском должен быть не менее

$$W = 10kH_c d_1,$$

где k – коэффициент, определяемый по формуле

$$k = \sqrt{2 + 0,085L} = \sqrt{2 + 0,085 \cdot 90,2} = 3,1;$$

$H_c = 4,8$ м – высота борта в рассматриваемом сечении;

$d_1 = 1,65$ м.

$$W = 10 \cdot 3,1 \cdot 4,8 \cdot 1,65 = 245,52 \text{ см}^3.$$

Размеры сечения рамного шпангоута определяем расчетным методом.

Толщина стенки шпангоута принимается равной толщине обшивки корпуса, толщина которой по таблице 2.4.1.1 определяется методом линейной интерполяции:

$$S = 6 + \frac{1}{60}(90,2 - 80) = 6,17 \text{ мм}.$$

L , м	S , мм
80	6
140	7

Принимаем толщину стенки $S = 6$ мм.

Высота стенки профиля

$$h = 0,86\sqrt[2]{Wm} = 0,86\sqrt[2]{245,52 \cdot 80} = 23,2 \text{ см.}$$

Принимаем высоту стенки $h = 230$ мм.

Толщина свободного приваренного пояска

$$S_1 = (1,25 \dots 1,75) S = (1,25 \dots 1,75) \cdot 6 = 7,5 \dots 10,5 \text{ мм.}$$

Принимаем $S_1 = 10$ мм.

Ширина свободного пояска

$$b = (15 \dots 20) S_1 = (15 \dots 20) \cdot 10 = 150 \dots 200 \text{ мм.}$$

Принимаем $b = 180$ мм.

Сечение рамного шпангоута приведено на рисунке 14.1.

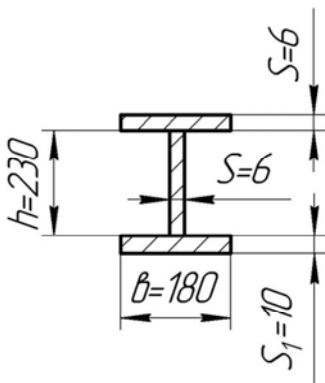


Рисунок 14.1. – Сечение рамного шпангоута

Так как высота борта судна $H = 4,8$ м, необходима установка двух бортовых стрингеров (п. 2.4.4.10 Правил).

Учитывая известные рекомендации по установке бортового стрингера, устанавливаем его ниже ватерлинии судна с грузом, равной 2,8 м, и выше ватерлинии порожнем, равной 1,5 м.

Принимаем высоту расположения нижнего бортового стрингера, считая от основной линии, $l = 1,6$ м. Второй стрингер устанавливаем на высоте грузовой ватерлинии, равной 2,8 м.

Размер сечения бортовых стрингеров принимаем равным размерам сечения рамного шпангоута, а именно

$$\begin{array}{c} \text{—} \\ | \\ \text{—} \end{array} \frac{230 \times 6}{180 \times 10}.$$

Момент сопротивления поперечного сечения холостого шпангоута с присоединенным пояском должен быть не менее

$$W = 12kla = 12 \cdot 3,1 \cdot 2,0 \cdot 0,55 = 40,92 \text{ см}^3,$$

где $k = 3,1$ (смотрим набор сечения рамного шпангоута);

$l = 2$ м – расстояние от верхнего бортового стрингера до палубы;

$a = 0,55$ м – шпация.

Принимаем уголок $L = 75 \times 50 \times 8$; $F = 9,47 \text{ см}^2$; $W = 39,8 \text{ см}^3$; $I_x = 40,9 \text{ см}^4$.

15. ПАЛУБНЫЙ НАБОР

Набор палубы производим по продольной системе набора.
Толщина палубного настила по таблице 2.4.1.1 Правил

$$S = 6,5 + \frac{1}{60}(90,2 - 80) = 6,67 \text{ мм.}$$

L , м	S , мм
80	6,5
140	7,5

Принимаем $S = 7$ мм.

Толщина палубного стрингера и ширстрека по таблице 2.4.1.1 Правил

$$S = 8,5 - \frac{1}{60}(140 - 90,2) = 7,67 \text{ мм.}$$

L , м	S , мм
80	7
140	8,5

Принимаем толщину ширстрека и палубного стрингера равной 8 мм.

При определении размеров поперечных сечений бимсов и карлингсов применяют характеристику B_1 , для проектируемого судна равную его ширине, т. е. $B_1 = B = 13$ м (п. 2.4.5.2 Правил), и характеристику L_{Π} – расстояние между поперечными переборками (фермами), равное 20,9 м.

$$\frac{L_{\Pi}}{B_1} = \frac{20,9}{13} = 1,6 > 0,7.$$

В соответствии с требованиями пункта 2.4.5.7 Правил при соотношении $\frac{L_{\Pi}}{B_1} \geq 0,7$ размеры карлингсов принимаются равными размерам бимсов.

Размер высоты стенки рамных бимсов и полубимсов принимается не менее $2/3$ высоты рамного шпангоута. Отсюда высота стенки рамного бимса

$$h_{p.б} = \frac{2}{3} \cdot 230 = 153 \text{ мм.}$$

Площадь поперечного сечения свободного пояска рамного бимса принимается равной $0,75$ площади свободного пояска рамного шпангоута:

$$F_{св.п} = 180 \cdot 10 \cdot 0,75 = 1350 \text{ мм}^2.$$

Принимаем размер сечения рамного бимса:

стенка 153×6 мм; полка 150×9 мм.

Момент сопротивления поперечного сечения продольных подпалубных ребер жесткости с присоединенным пояском должен быть не менее (п. 2.4.5.4 и п. 2.4.5.6 Правил):

$$W = 3,6ad_1^2 = 3,6 \cdot 0,55 \cdot 1,65^2 = 5,39 \text{ см}^3.$$

Принимаем $L = 45 \times 28 \times 4$, $F = 12,4 \text{ см}^2$, $I_x = 27,7 \text{ см}^4$, $W = 6,96 \text{ см}^3$.

Момент поперечного сечения продольных подпалубных ребер жесткости с присоединенным пояском должен быть не менее

$$I = 1,02 \cdot 10^{-2} KR_{CH} (f + 100at) d_1^2, \text{ см}^4,$$

где $K = 1,25$;

$R_{CH} = 235$ МПа – предел текучести материала;

$f = 2,80 \text{ см}^2$ – площадь поперечного сечения подпалубного ребра жесткости без присоединенного пояска;

$t = 7$ мм = $0,7$ см – толщина палубного настила;

$a = 0,55$ м – шпация;

$d_1 = 1,65$ м – расстояние между рамными бимсами, п. 2.4.5.6 Правил.

$$I = 1,02 \cdot 10^{-2} \cdot 1,25 \cdot 235 \cdot (2,8 + 100 \cdot 0,55 \cdot 0,7) \cdot 1,65^2 = 335,8 \text{ см}^4.$$

Принимаем уголок $L = 90 \times 56 \times 8 \text{ см}^4$, так как момент инерции $I_x = 27,7 \text{ м}^4$, определенный по формуле

$$W = 3,6ad_1^2,$$

не удовлетворяет требованиям пункта п. 2.4.5.6 Правил.

Определение размеров вырезов в палубе

Ширина выреза в палубе не должна превосходить 0,70 ширины судна B в данном месте.

Ширина выреза люка в палубе

$$b = 0,7B = 0,7 \cdot 13 = 9,1 \text{ м.}$$

Расстояние от борта судна до кромки люка составит

$$\frac{B - b}{2} = \frac{13 - 9,1}{2} = 1,95 \text{ м.}$$

На ширине палубы 1,95 м размещаем три продольные шпации размером 0,65 м каждая.

Продольный комингс люка располагаем в одной вертикальной плоскости с боковым кильсоном, а в палубном наборе указанный комингс совпадает с карлингсом.

16. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМИНГСОВ ЛЮКОВ

Минимальная высота комингса люка для судов класса «О» должна быть не менее 1,0 м. Принимаем $h_k = 1,0$ м.

Толщина стенки комингса по таблице 2.4.1.1 Правил

$$S = 11 - \frac{1}{60}(140 - 90,2) = 10,17 \text{ м.}$$

$L, \text{ м}$	$S, \text{ мм}$
80	9
140	11

Принимаем толщину стенки непрерывного продольного комингса люка $S = 10$ мм.

Листы комингсов доводят до нижней кромки рамных бимсов и отгибают фланец шириной 10–12 толщин комингса.

Эскиз поперечного сечения комингса приведен на рисунке 16.1.

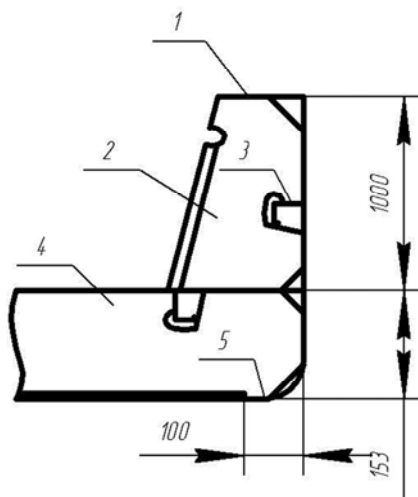


Рисунок 16.1. – Сечение комингса грузового люка:
1 – полка, швеллер № 33; 2 – бракета; 3 – ребро жесткости;
4 – бимс; 5 – отогнутый фланец

17. ПОПЕРЕЧНЫЕ ПЕРЕБОРКИ В РАЙОНЕ ГРУЗОВЫХ ТРЮМОВ

Размер непроницаемой переборки по высоте простирается от днища до палубы надводного борта, а по ширине – от борта до борта.

В проектируемом судне принимаем плоскую переборку с набором.

Рамные стойки устанавливаем в плоскостях кильсонов и карлингсов. Размер их сечения принимается равным размерам рамного бортового шпангоута, а именно:

$$\frac{230 \times 6}{180 \times 10}$$

Момент сопротивления поперечного сечения холостой стойки переборки принимается равным моменту сопротивления поперечного сечения холостого бортового шпангоута, а именно: $L = 75 \times 50 \times 8$.

В плоскостях бортовых стрингеров на переборке устанавливаем два шельфа.

Момент сопротивления поперечного сечения шельфов с присоединенным пояском, см³, должен быть не менее момента сопротивления сечения бортового стрингера, т. е. размер сечения шельфов принимается равным размеру сечения вертикальной рамной стойки.

Конструктивная схема переборки приведена на рисунке 17.1.

Толщина нижнего пояса переборки

$$S = 5 + \frac{1}{60}(90,2 - 80) = 5,17 \text{ мм.}$$

L , м	S , мм
80	5
140	6

Принимаем $S = 5$ мм.

Толщину верхних поясков принимаем $S = 4$ мм.

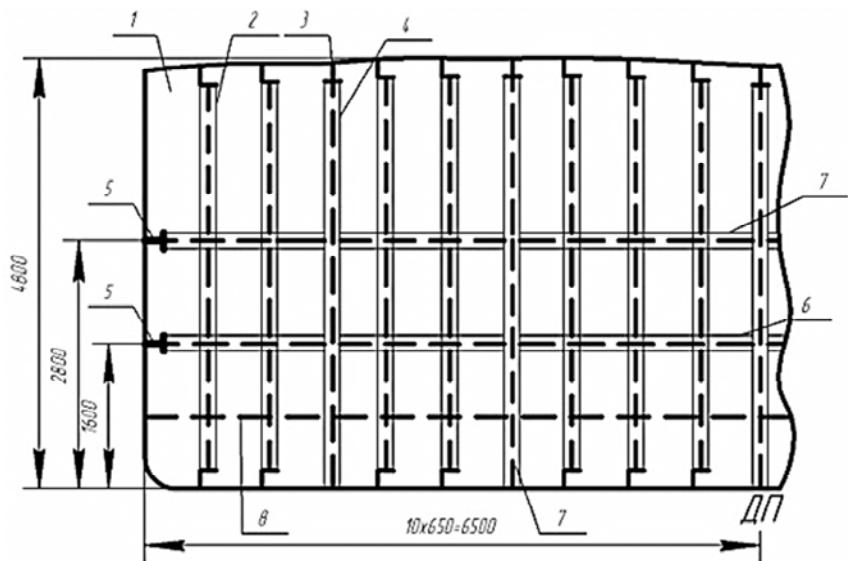


Рисунок 17.1. – Плоская поперечная переборка:
 1 – обшивка переборки; 2 – холостая стойка; 3 – карлинг;
 4 – вертикальная рамная стойка; 5 – бортовой стрингер;
 6, 7 – шельфы; 8 – уровень двойного дна

18. РАСЧЕТ ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ СУДНА

В соответствии с требованиями пункта 2.2.3.1 Правил определение напряжений от общего изгиба проводят для двух случаев: прогиба – при сжатой палубе и перегиба – при сжатом днище.

Расчет выполняют для тех сечений корпуса, в которых можно ожидать наибольшие суммарные напряжения, например: в самом слабом сечении средней части судна, в местах окончания основных продольных связей, в сечениях у границ перехода одной системы набора в другую или изменения материала корпуса.

В эквивалентный брус включаются все продольные связи корпуса в рассматриваемом сечении и идущие непрерывно на протяжении, большем чем удвоенная высота борта, при условии, что соединение этих связей с корпусом обеспечивает их участие в общем изгибе.

Полусечение эквивалентного бруса проектируемого судна с перечнем сечений его продольных связей приведено на рисунке 18.1.

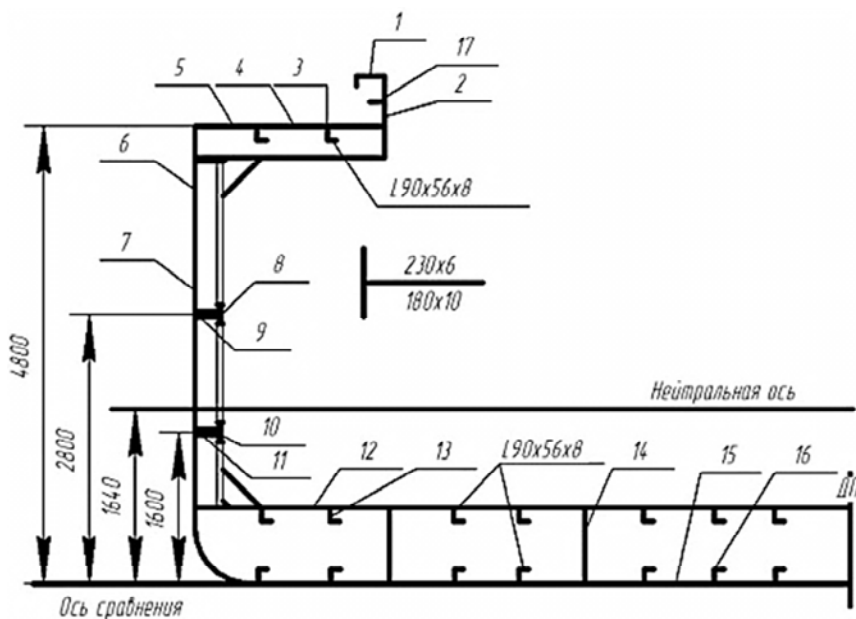



Рисунок 18.1. – К расчету эквивалентного бруса

Определение геометрических характеристик эквивалентного бруса производят в табличной форме (таблица 18.1).

Таблица 18.1 – Определение геометрических характеристик эквивалентного бруса в первом приближении

Номер связи	Наименование связи	Размер и площадь сечения связи F_i , см ²	Отстояние от оси сравнения z_i , м	Статический момент площади $F_i z_i$, см ² ·м	Переносный момент инерции $F_i z_i^2$, см ² ·м ²	Собственный момент инерции связи $J_{c_i}^2$, см ² ·м ²
1	Полка комингса	 № 33, 46,5	5,197	241,66	1255,90	–
2	Стенка комингса	$89,5 \cdot 1,0 = 89,5$	5,245	469,43	2462,15	5,90
3	Ребра жесткости	$11,4 \cdot 2 = 24,8$	4,794	118,89	569,96	–
4	Лист палубы	$0,7 \cdot 210 = 147$	4,796	705,1	3381,23	–
5	Палубный стрингер	$0,8 \cdot 60 = 48$	4,796	230,21	1104,09	–
6	Ширстрек	$0,8 \cdot 96 = 76,8$	4,32	331,77	1433,25	5,89
7	Лист борта	$374 \cdot 0,6 = 224,4$	2,77	651,59	1804,90	143,48
8	Полка бортового стрингера	$18 \cdot 1,0 = 18$	2,8	50,40	141,12	–
9	Стенка бортового стрингера	$23 \cdot 0,6 = 13,8$	2,8	38,64	108,19	–
10	Полка бортового стрингера	$18 \cdot 1,0 = 18$	1,6	28,8	36,48	–
11	Стенка бортового стрингера	$23 \cdot 0,6 = 13,8$	1,6	22,08	35,33	–
12	Лист двойного дна	$650 \cdot 1,0 = 650$	0,795	516,75	410,82	–
13	Ребра жесткости	$11,2 \cdot 7 = 78,4$	0,794	62,25	49,43	–
14	Кильсон	$3(80 \cdot 0,8) = 192$	0,4	76,8	30,72	–
15	Лист днища	$585 \cdot 0,6 = 351$	0,003	1,05	0,003	–
16	Ребро жесткости днища	$7 \cdot 11,2 = 78,4$	0,006	0,470	0,0028	–
17	Ребро жесткости	$5 \cdot 1 = 5$	4,855	24,275	117,85	–
		Σ 2075,4		3570,08	12942,23	268,78

При этом собственный момент инерции связей прямоугольного сечения определяют по формуле

$$I_c = \frac{bh^3}{12}, \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2,$$

где b и h , как площадь сечения, берут в сантиметрах, а оставшуюся высоту сечения h^2 берут в метрах.

Нормы допускаемых напряжений, выраженные в долях предела текучести материала, приведены в таблице 2.2.6.3 Правил.

Конструктивные схемы днищевых, бортовых и палубных перекрытий приведены на рисунках 18.2–18.4.

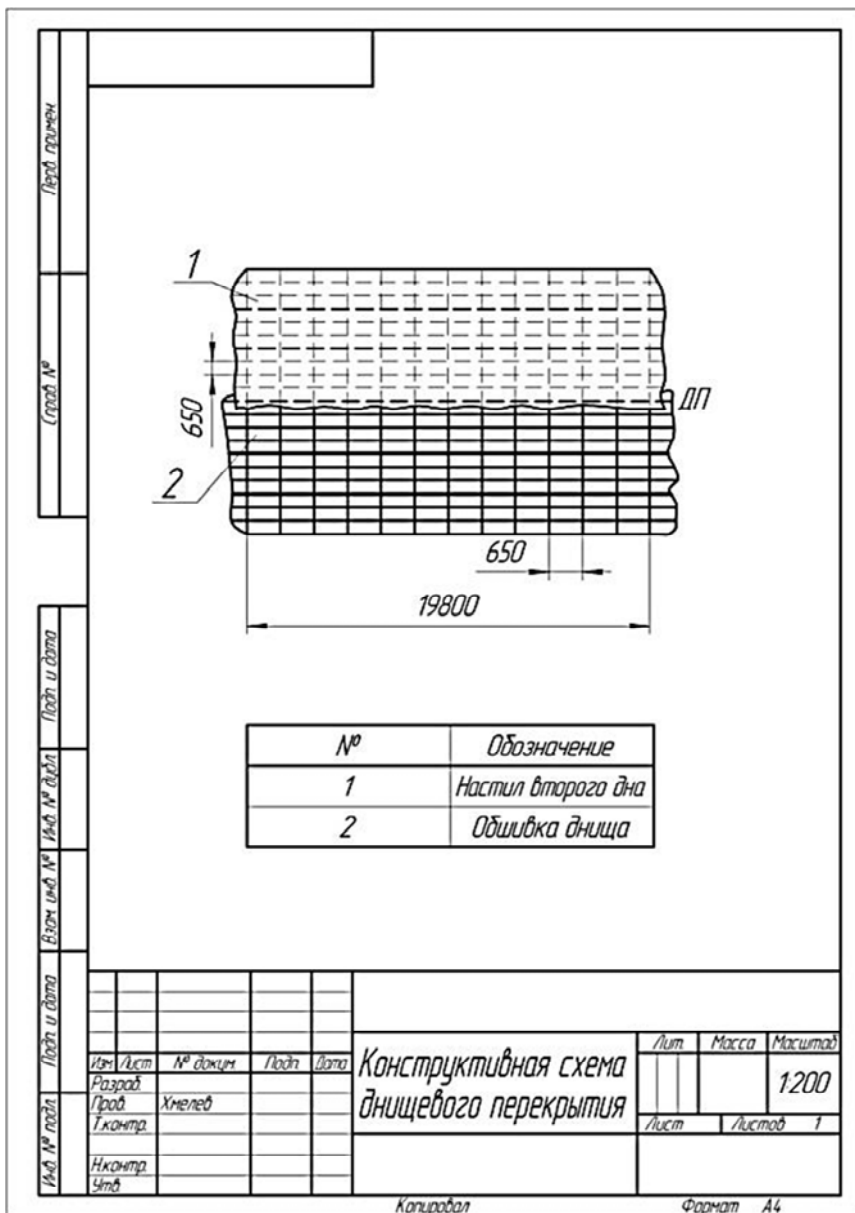


Рисунок 18.2

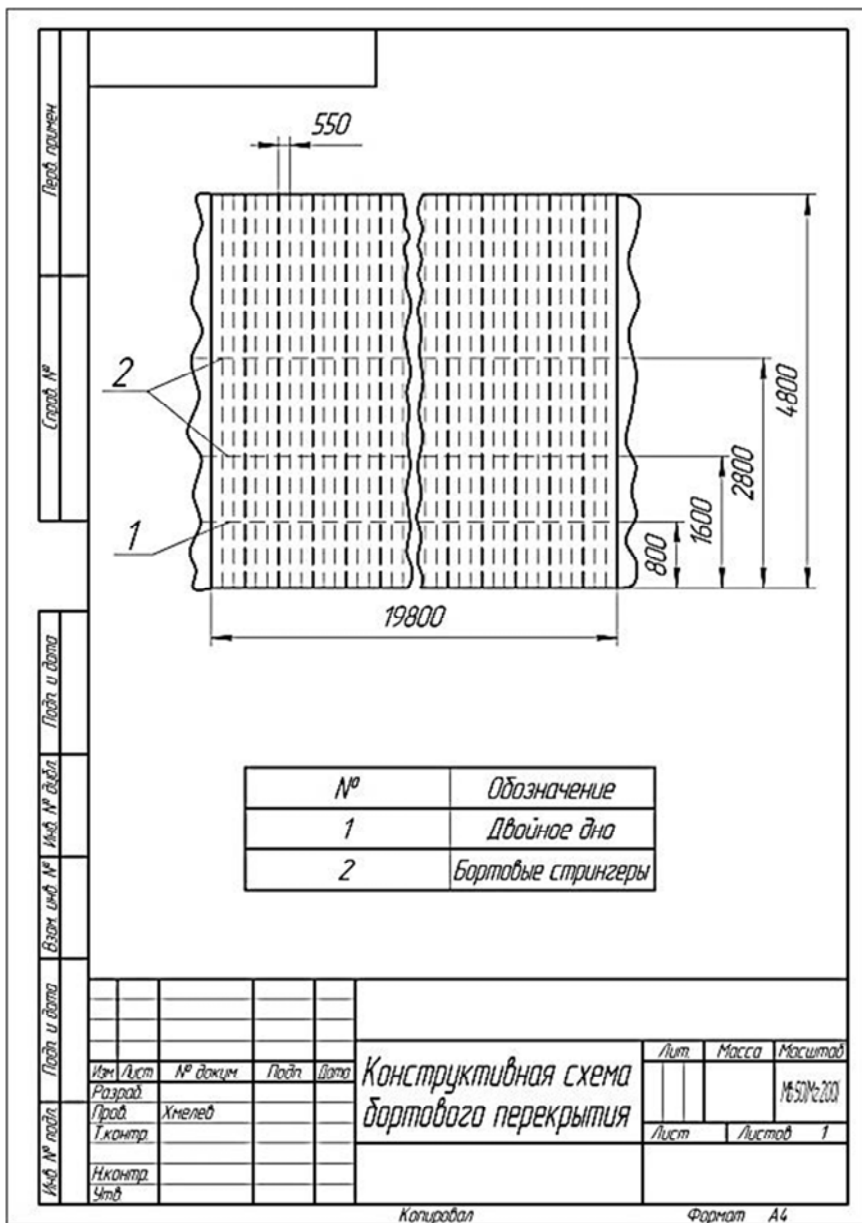


Рисунок 18.3

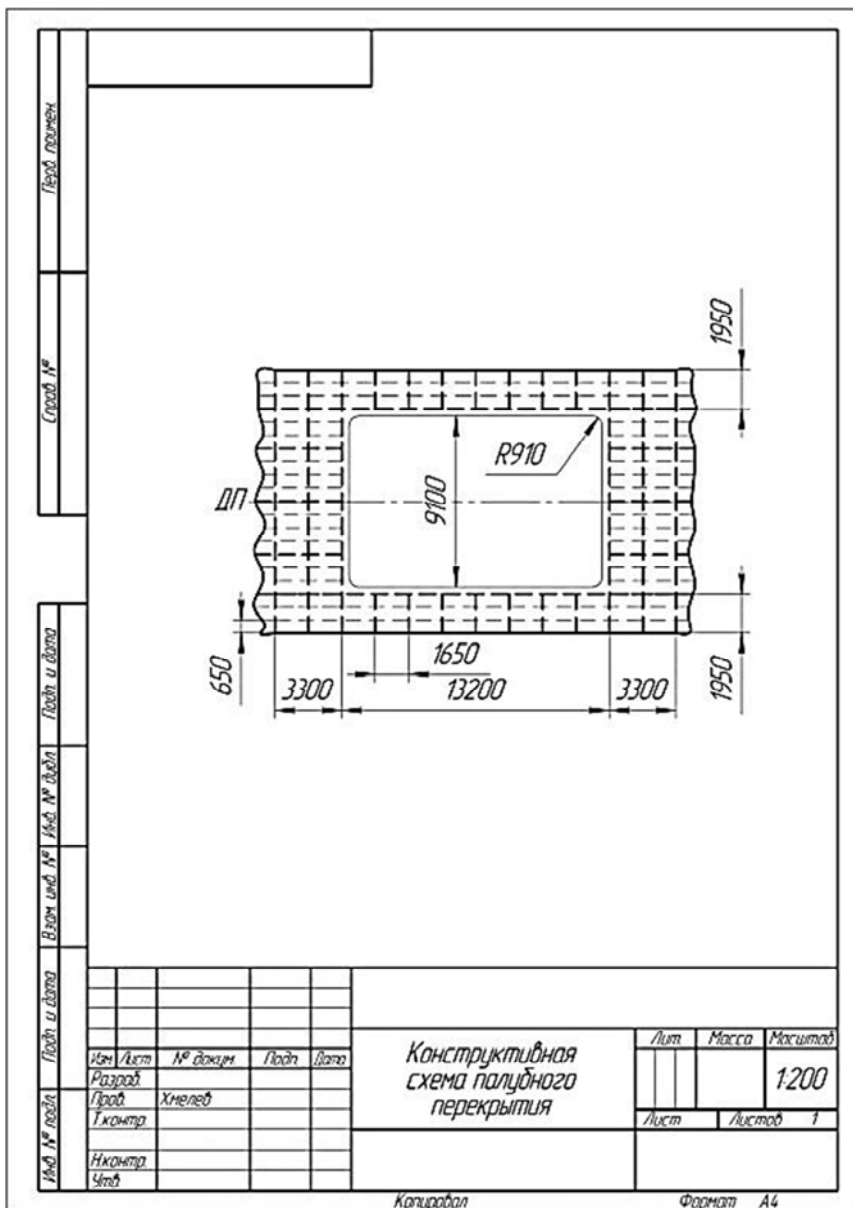


Рисунок 18.4

Определяем положение нейтральной оси комингса:

$$l = \frac{\sum F_i z_i}{\sum F_i} = \frac{3570,08}{2075,4} = 1,72 \text{ м.}$$

Проводим нейтральную ось на сечении эквивалентного бруса на расстоянии 1,72 м от оси сравнения.

Момент инерции сечения эквивалентного бруса относительно нейтральной оси сечения

$$I_{\phi} = 2 \left(\sum F_i z_i^2 + \sum I_c - l^2 \sum F_i \right) = \\ = 2 \left(19242,23 + 268,78 - 1,72^2 \cdot 2075,4 \right) = 14144,28 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2.$$

Фактический момент сопротивления днища

$$W_{\text{дн.}\phi} = \frac{I_{\phi}}{l} = \frac{14144,28}{1,72} = 8223,4 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2.$$

Фактический момент сопротивления палубы

$$W_{\text{п.}\phi} = \frac{I_{\phi}}{H-l} = \frac{14144,28}{4,8-1,72} = 4592,3 \text{ см}^2 \cdot \text{м}^2.$$

Определение изгибающих моментов перерезывающих сил

Изгибающий момент на тихой воде

$$M_{\text{т.в}} = 0,076 k_c c_W B L^2 (c_B + 0,7) = \\ = 0,076 \cdot 1,0 \cdot 3,24 \cdot 13 \cdot 90,2^2 \cdot (0,82 + 0,7) = 39587,55 \text{ кН}\cdot\text{м},$$

где $c_W = 0,0856 L \varphi = 0,0856 \cdot 90,2 \cdot 0,42 = 3,24$;

$$\varphi = 0,6 - 0,2L \cdot 10^{-2} = 0,6 - 0,2 \cdot 90,2 \cdot 10^{-2} = 0,42.$$

Дополнительный волновой изгибающий момент (п. 2.2.1.10 Правил)

$$M_{д.в} = \pm 98,1 K_0 K_1 K_2 \delta B L^2 h,$$

где $K_0 = 1,24 - 1,7 \frac{B}{L} = 1,24 - 1,7 \frac{13}{90,2} = 1,0$ для судов класса «О»;

$K_1 = f(L)$ (таблица 2.2.1.10 Правил):

$$K_1 = 0,00099 + \frac{0,00134 - 0,00099}{40} (100 - 90,2) = 0,000904;$$

$$K_2 = 2 - \frac{20T_n}{L} = 2 - \frac{20 \cdot 2,8}{90,2} = 1,38,$$

где T_n – осадка носом судна, принятая в данном случае осадке в грузовом состоянии;

$\delta = 0,8$ – коэффициент полноты водоизмещения;

$h = 2$ м – расчетная высота волны.

$L, \text{ м}$	K_1
60	0,00134
100	0,00099

$$M_{д.в} = \pm 98,1 \cdot 1,0 \cdot 0,000904 \cdot 1,38 \cdot 0,8 \cdot 13 \cdot 90,2^2 \cdot 2 = 20710,6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Расчетный изгибающий момент в миделевом сечении при перегибе судна

$$M_p = M_{т.в} + M_{д.в} = 39587,55 + 20710,6 = 60328,15 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Перерезывающая сила на тихой воде

$$N_{т.в} = \frac{M_{т.в}}{4L} = \frac{39587,55}{4 \cdot 90,2} = 109,72 \text{ кН}.$$

Дополнительная волновая перерезывающая сила

$$N_{д.в} = \frac{4M_{д.в}}{L} = \frac{4 \cdot 20710,6}{90,2} = 918,43 \text{ кН.}$$

Определяем нормальные напряжения при перегибе судна.

Напряжения в палубе

$$\sigma = \frac{M_p}{W_{ф.п}} = \frac{60328,15}{4592,3} = 131,3 \text{ МПа} < [\sigma].$$

Напряжения в днище

$$\sigma = \frac{M_p}{W_{ф.дн}} = \frac{60328,15}{8223,4} = 73,32 \text{ МПа} < [\sigma].$$

Напряжения в палубе при изгибе судна

$$\sigma = \frac{M_p}{W_{ф.п}} = \frac{18876,95 \cdot 10^6}{4592 \cdot 10^5} = -41,37 \text{ МПа} < [\sigma].$$

Допускаемые напряжения для наиболее удаленных от нейтральной оси точек палубы и днища составляют (таблица 2.2.6.3)

$$[\sigma] = 0,75R_{вн} = 0,75 \cdot 235 = 176,25 \text{ МПа.}$$

Заключение о спроектированном мидель-шпангоуте судна

Как показывают расчетные обоснования, выполненные по Правилам Речного регистра 1995 г. – надежность спроектированной конструкции обеспечена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. – Ленинград : Судостроение, 1981. – 207 с.
3. Правила классификации и постройки судов внутреннего плавания: Речной регистр РФ. – в 4 ч. – Москва : Транспорт, 1995. – 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. – Ленинград : Судостроение, 1984. – 376 с. ил.
5. Свечников, О. И. Расчет и проектирование конструкций судов внутреннего плавания / О. И. Свечников, И. И. Трянин. – Санкт-Петербург : 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
12. ВЫБОР ШПАЦИИ И КОМПОНОВКА ОБЩЕГО РАСПОЛОЖЕНИЯ.....	5
12.1. Носовая и кормовая части судна.....	6
12.2. Выбор количества и установка поперечных переборок	8
12.3. Выбор системы набора.....	8
13. ДНИЩЕВОЙ НАБОР СУДНА С ДВОЙНЫМ ДНОМ ПРИ ПРОДОЛЬНОЙ СИСТЕМЕ НАБОРА	9
14. БОРТОВЫЙ НАБОР	12
15. ПАЛУБНЫЙ НАБОР	15
16. ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМИНГСОВ ЛЮКОВ.....	18
17. ПОПЕРЕЧНЫЕ ПЕРЕБОРКИ В РАЙОНЕ ГРУЗОВЫХ ТРЮМОВ	19
18. РАСЧЕТ ОБЩЕЙ ПРОЧНОСТИ СУДНА	21
Список литературы.....	30

Учебное издание

ХМЕЛЁВ Александр Афанасьевич
ВЛАСОВ Вячеслав Владимирович

**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 4

Редактор *Т. Н. Микулик*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 11.05.2017. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,45. Тираж 50. Заказ 775.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.