

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет
имени М.В. Ломоносова»
Филиал САФУ в г. Северодвинске Технический колледж

Н.С. Лочехина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА СУДНА

*Учебно-методическое пособие
к курсовому проектированию*

Архангельск
САФУ
2022

УДК 629.12.011
ББК 39.42-01
Л 80

*Рекомендовано к изданию учебно-методическим советом
Северного (Арктического) федерального университета
имени М.В. Ломоносова*

Лочехина, Н.С.
Л 80 Проектирование конструкций корпуса судна: учебно-методическое пособие к курсовому проектированию / Н.С. Лочехина; Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: САФУ, 2022. – 95 с. – Текст: электронный.
ISBN 978-5-261-01597-0

В учебно-методическом пособии систематизирован необходимый для студентов материал и порядок расчетов, связанных с проектированием конструкций основных типов транспортных судов по Правилам классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства (РМРС).

Предназначено для студентов специальности 26.02.02 «Судостроение», выполняющих курсовой проект по МДК 01.01 «Технологическая подготовка производства в судостроении».

УДК 629.12.011
ББК 39.42-01

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, д. 56

ISBN 978-5-261-01597-0

© Лочехина Н.С., 2022
© Северный (Арктический)
федеральный университет
им. М.В. Ломоносова, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Выбор архитектурно-конструктивного типа судна	5
1.1. Основные сведения о типах судов	5
1.2. Разбивка судна на шпации и деление судна на отсеки	11
1.3. Расстановка переборок	13
1.4. Определение контейнеровместимости, дедвейта и водоизмещения судна	14
1.5. Разработка поперечного сечения судна	15
2. Выбор категории и марки материала корпуса судна	17
3. Выбор и обоснование системы набора корпуса	19
4. Расчет элементов корпуса судна	20
4.1. Расчет элементов наружной обшивки судна	20
4.2. Расчет элементов днищевого перекрытия	26
4.3. Расчет элементов бортового перекрытия	34
4.3.1. Универсальные сухогрузы, рефрижераторы и ролкеры	35
4.3.2. Лесовозы	37
4.3.3. Контейнеровозы	42
4.3.4. Балкеры	45
4.3.5. Танкеры	49
4.4. Расчет элементов палубных перекрытий	53
4.4.1. Универсальные сухогрузные суда, лесовозы, контейнеровозы, балкеры	54
4.4.2. Танкеры	60
4.4.3. Ролкеры	63
4.5. Расчет элементов переборок	66
4.5.1. Поперечные переборки многопалубных судов	66
4.5.2. Поперечные переборки однопалубных судов	70
4.5.3. Продольные переборки танкеров	73
5. Графическая часть курсового проекта	74
5.1. Конструктивный чертеж мидель-шпангоута судна	74
5.2. Рабочий чертеж секции	77
6. Основные положения курсового проекта	81
Список использованных источников	85
Приложения	
Приложение А. Стандартные размеры толстолистовой стали	86
Приложение Б. Номограммы минимальных моментов сопротивления профилей балок	88
Приложение В. Справочные данные о профильной стали	90
Приложение Г. Основные размеры треугольных книц	93
Приложение Д. Рекомендуемая форма для выполнения расчетов элементов корпуса судна	95

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие учитывает требования Правил классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства (РМРС). Пособие рекомендуется в помощь студентам специальности 26.02.02 «Судостроение» при выполнении курсового проекта по МДК 01.01 Технологическая подготовка производства в судостроении (Тема 1.2 Проектирование конструкций корпуса судна), практических работ по данной теме, а также в процессе дипломного проектирования, где часто ставится задача набора корпусов судов по Правилам классификации и постройки морских судов РМРС.

Правила классификации и постройки морских судов РМРС – основной документ, регламентирующий нормы проектирования судна. Использование этого документа может представлять сложность для студентов – данное учебно-методическое пособие дает алгоритм проектирования корпуса судна.

Пособие содержит информацию по каждому разделу курсового проекта: выбор архитектурно-конструктивного типа судна, выбор и обоснование системы набора корпуса и перекрытий, выбор материала корпуса судна, а также расчеты корпусных конструкций по Правилам классификации и постройки морских судов РМРС наиболее характерных типов судов транспортного флота: универсального сухогруза, контейнерного судна, лесовоза, балкера, ролкера, танкера.

Здесь p, b – см. расчет толщины ледового пояса;

$a_{p,ш}$ – расстояние между рамными шпангоутами (диафрагмами), м;

l – пролет рамного шпангоута (диафрагмы) – высота танка, м;

$$Q = 2 - N;$$

$$N = 1,1 \beta;$$

$$\beta = \frac{b_1 e}{b};$$

$$e = \bar{b} + 1;$$

\bar{b}, b_l – см. расчет продольных балок (п. 1а);

$$R = 0,33 \beta;$$

$$k_g = 0,5 \left(\frac{eQ}{R} - 1 \right) \text{ или } k_g = 0,5 [k - 0,25 (e + 1)] - \text{выбирается большее значение};$$

$$k_p^H = 0,6;$$

k – число продольных балок по высоте борта;

$$\omega_p = 1,15.$$

В результате расчета пп. 2а, 2б, 2в выбрать сечение диафрагмы. В данном расчете оно представляет собой двутавровую балку – сечение диафрагмы с двумя присоединенными поясками (обшивки наружного и внутреннего борта). Размеры сечения этой балки можно выбрать следующим образом:

– стенка диафрагмы имеет толщину не менее S_{\min} (см. п. 2а; можно принять как толщину сплошных флоров) и ширину h , равную ширине двойного борта, то есть площадь сечения стенки диафрагмы будет, см^2 ,

$$f = hS;$$

– присоединенные пояска наружной обшивки и обшивки внутреннего борта имеют толщину, равную толщине указанных конструкций (соответственно, $S_{\bar{b}}$ и $S_{\text{вн.}\bar{b}}$); ширина присоединенных поясков (b) выбирается как меньшая из следующих двух величин: $l/6l$ или $a_{p,ш}$ ($a_{p,ш}$ – расстояние между рамными шпангоутами).

Тогда площади сечений присоединенных поясков будут, см^2 :

$$f_1 = bS_{\text{вн.}\bar{b}}, \quad f_2 = bS_{\bar{b}}.$$

Затем надо рассчитать момент сопротивления поперечного сечения полученного профиля диафрагмы (по формуле И.Г. Бубнова)

$$W_{\text{факт}} = h \left(f_1 + \frac{f}{6} \frac{4f_2 - 2f_1 + f}{2f_2 + f} \right)$$

и проверить условие: $W_{\text{факт}} \geq W_{\text{расч}}$ ($W_{\text{расч}}$ – необходимый расчетный момент сопротивления поперечного сечения диафрагмы, определенный в пп. 2б и 2в).

3. Ребра жесткости диафрагм – согласно пп. 2.5.4.8; 1.6.4.1; 1.6.4.2 Правил РМРС:

$$W = W' \omega_k, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_\sigma \sigma_n}.$$

Здесь $Q = pal$;

$m = 10$ – для ребер жесткости;

$k_\sigma = 0,75$ – для ребер жесткости в средней части судна;

l – пролет ребер жесткости (ширина двойного борта), м;

a – расстояние между ребрами жесткости (шпация), м;

$p = p_{\text{исп}} = 7,5h_n$ – испытательное давление, кПа;

$h_n = (z_i + \Delta z)$ – испытательный напор, м;

z_i – расстояние от нижнего ребра жесткости до ВП, м;

$\Delta z = 2,5$ м – высота воздушной трубки над ВП, м;

$\omega_k = 1,05$.

Подобрать профиль ребер жесткости – симметричный или несимметричный полособульб.

В результате расчета элементов бортового перекрытия студенты должны вычертить элементы борта на чертеже конструктивного мидель-шпангоута. На каждый борт вычерчиваются сечения, соответствующие конструкции днища. Обозначить размеры элементов борта – по расчету. При этом рекомендуется воспользоваться «Альбомами типовых конструкций» или учебной литературой по конструкции корпуса судна.

4.4. Расчет элементов палубных перекрытий

Верхняя палуба судна играет особую роль в составе корпуса судна. Являясь верхним пояском эквивалентного бруса, верхняя палуба участвует в обеспечении как общей, так и местной прочности корпуса. Нижние палубы, как правило, предназначены для перевозки груза, поэтому рассчитываются на его давление. Наличие вырезов грузовых люков еще больше усложняет задачу проектирования палуб.

В зависимости от назначения и размерений судна применяют различные системы палубных перекрытий: поперечную (на небольших судах или для нижних палуб крупных сухогрузных судов); продольную (для верхних палуб крупных судов) или комбинированную (на судах «открытого» типа).

Конструирование палубного перекрытия также включает три этапа, а именно:

- 1) разработку схемы перекрытия;
- 2) расчет элементов перекрытия;
- 3) вычерчивание рассчитанных конструкций на чертеже конструктивного мидель-шпангоута.

4.4.1. Универсальные сухогрузы, лесовозы, контейнеровозы, балкеры

ВП крупных сухогрузных судов, как правило, имеет грузовые люки и выполняется по продольной системе набора, что связано с необходимостью обеспечения общей продольной прочности корпуса судна. В углах люков, где наблюдается концентрация напряжений, предусматривается усиление в виде утолщенных вварных листов.

Нижние палубы обычно проектируются по поперечной системе набора, так как напряжения от общего продольного изгиба здесь невелики, и основную роль играют местные нагрузки (от груза), а также нагрузки от бортов.

Разработка схемы перекрытия ВП

Схема разрабатывается для того же трюма в средней части судна, что и в расчете днища.

Границами перекрытия является его опорный контур; для палубного перекрытия – борта и поперечные переборки.

Расстановка элементов набора, в соответствии с выбранной системой набора, начинается с установки продольных подпалубных балок (на расстоянии шпации), расположение которых должно быть согласовано с продольным набором днища.

Затем устанавливаются рамные бимсы и полубимсы через 3–5 шпаций, согласованно со сплошными флорами на днище.

После установки основного набора необходимо уточнить размеры грузового люка, которые были определены при разработке поперечного сечения судна по коэффициентам раскрытия палубы. Кромки люка должны быть расположены на балках набора, то есть длина люка должна быть кратна расстоянию между рамными бимсами и полубимсами, а ширина люка должна быть равна четному числу расстояний между продольными балками (шпаций).

По кромкам люка устанавливается усиленный набор палубы: концевые люковые бимсы и карлингсы-комингсы. При большой ширине люка может быть установлен дополнительный карлингс в ДП. При большой длине люка могут предусматриваться пиллерсы или полупереборки для уменьшения пролета карлингсов.

Разработка схемы перекрытия НП

Схема разрабатывается аналогично ВП, но при поперечной системе набора основными элементами будут:

- бимсы и полубимсы, устанавливаемые на расстоянии шпации;
- концевые люковые бимсы – по кромкам люка;
- карлингсы, устанавливаемые так же, как на ВП.

На схемах перекрытий необходимо обозначить элементы и назвать их, а также указать расстояния между набором.

План расчета элементов ВП

1. Расчетное давление на ВП – согласно пп. 2.6.3.1; 1.3.2.2 Правил РМРС:

$$p = 0,7p_w \geq p_{\min}.$$

Здесь $p_w = p_{w0} - 7,5a_x z_i$ – волновая нагрузка выше летней грузовой ватерлинии (ЛГВЛ), кПа;

p_{w0} – волновая нагрузка на уровне ЛГВЛ, кПа;

a_x – коэффициент, учитывающий отстояние рассматриваемого сечения от носового или кормового перпендикуляра (x_1), для района мидель-шпангоута можно принимать 0,267;

$z_i = D - d$ – расстояние от ЛГВЛ до ВП, м;

$p_{\min} = 0,015L + 7$ – минимальная нагрузка на ВП в средней части судна.

Если верхняя палуба является грузовой, то выбирается большая расчетная нагрузка:

$$p = p_{\text{волн}} \text{ или } p_{\Gamma}$$

Здесь $p_{\text{волн}} = p_{w0} - 7,5a_x z_i$ – волновая нагрузка выше ЛГВЛ, кПа;

$$p_{\Gamma} = h\rho_{\Gamma}g\left(1 + \frac{a_z}{g}\right) \geq 20 \text{ кПа} - \text{давление перевозимого груза, кПа;}$$

$h = h_{\text{тр}}$ – высота укладки груза, м; для контейнеровозов h определяется количеством ярусов контейнеров, укладываемых на ВП; на лесовозах $h = 0,7 h_{\text{укл}}$, где $h_{\text{укл}} = 0,5D$ (D – высота борта, м);

$$\rho = \frac{1}{\mu} - \text{плотность груза, т/м}^3;$$

μ – удельный погрузочный объем груза, м³/т;

a_z – расчетное ускорение в вертикальном направлении (можно считать равным 0).

2. Минимальная толщина настила ВП – согласно п. 2.6.4.1.5 Правил РМРС:

- бортовые непрерывные участки

$$S_{\min} = (7 + 0,02L)\sqrt{\eta} \geq 5,5 \text{ при } L \geq 100 \text{ м;}$$

– внутри линий больших вырезов

$$S_{\min} = (7 + 0,01L)\sqrt{\eta} \geq 5,5 \text{ при } L \geq 100 \text{ м.}$$

3. Расчетная толщина настила ВП – согласно пп. 2.6.4.1.2; 1.6.4.4 Правил РМРС:

$$S = \max \sqrt{\frac{P}{k_{\sigma} \sigma_n}} + \Delta S.$$

Здесь $m = 15,8$;

a – расстояние между продольными подпалубными балками (шпация), м;

$k_{\sigma} = 0,6$ – в средней части судна при продольной системе набора;

$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$ – коэффициент, зависящий от соотношения размеров пластины обшивки: a – меньшего и b – большего;

$\sigma_n = \frac{235}{\eta}$ – расчетный нормативный предел текучести по нормальным напряжениям;

p – расчетная нагрузка на ВП (см. п. 1);

$\Delta S = u(T - 12)$ – запас на износ настила, определяемый в соответствии с п. 1.1.5.1;

$u = 0,1$ мм/г – среднегодовое уменьшение толщины (мм/год), принимаемое с учетом условий эксплуатации по табл. 1.1.5.2;

T – планируемый срок службы конструкции – принимается 24 года.

4. Размеры палубного стрингера – согласно п. 2.6.4.1.4 Правил РМРС:

– ширина

$$b = 5L + 800 \leq 1800;$$

– толщина

$$S_{\text{п.с}} = S_{\text{ВП}} \text{ или } S_{\text{борта}} \text{ (что больше).}$$

Здесь $S_{\text{п.с}}$ – толщина палубного стрингера, мм;

$S_{\text{ВП}}$ – толщина настила палубы, определенная в п. 3;

$S_{\text{борта}}$ – толщина бортовой обшивки в верхней части борта, рассчитанная в разделе «Наружная обшивка».

5. Толщина вварных листов в углах люков – согласно п. 2.6.5.1.2 Правил РМРС:

$$S_{\text{вв.л}} = 1,35 S_{\text{ВП}}$$

6. Продольные подпалубные балки – в соответствии с пп. 2.6.4.2; 1.6.4.1; 1.6.4.2 Правил РМРС:

$$W = W' \omega_K, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_{\sigma} \sigma_n}.$$

Здесь $Q = pal$;

$m = 12$ – для продольных подпалубных балок;

$k_{\sigma} = 0,65$ – для продольных подпалубных балок в средней части судна;

l – пролет продольных балок (расстояние между рамными бимсами и полу-бимсами), м;

a – расстояние между продольными подпалубными балками (шпация), м;

p – расчетная нагрузка на ВП (см. п. 1);

$\omega_K = 1,05$.

Подобрать профиль – симметричный или несимметричный полособульб.

7. Рамные бимсы и полубимсы – пп. 2.6.4.4; 2.6.4.6; 1.6.4.1; 1.6.4.2 Правил РМРС:

$$W = W' \omega_K, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_{\sigma} \sigma_n}.$$

Здесь $Q = pal$;

$m = 10$ – для рамных бимсов при продольной системе набора;

$k_{\sigma} = 0,65$ – для рамных бимсов в средней части судна;

l – пролет рамных бимсов (наибольший – по схеме), м;

a – расстояние между рамными бимсами, м;

p – расчетная нагрузка на ВП (см. п. 1);

$\omega_K = 1,05$.

Подобрать профиль – сварной тавр и проверить условие $h_{p.б} \geq 2h_{пр.б}$ ($h_{p.б}$ – высота рамного бимса; $h_{пр.б}$ – высота продольной балки; при необходимости увеличить профиль рамного бимса).

8. Карлингсы – согласно пп. 2.6.4.7; 1.6.4.1; 1.6.4.2 Правил РМРС:

$$W = W' \omega_K, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_{\sigma} \sigma_n}.$$

Здесь $Q = pbl$;

$m = 12$ – для карлингсов;

$k_{\sigma} = 0,65$ – для карлингсов в средней части судна;

l – пролет карлингсов (длина люка), м;

b – ширина площади палубы, поддерживаемой карлингсом, м;
 p – расчетная нагрузка на ВП (см. п. 1);
 $\omega_k = 1,05$.

Подобрать профиль – сварной тавр.

9. Концевые люковые бимсы – согласно п. 2.6.4.4 Правил РМРС. Концевые люковые бимсы можно принять конструктивно – как карлингс.

10. Конструкция фальшборта – согласно пп. 2.14.2; 2.14.4 Правил РМРС:

– высота фальшборта $h \geq 1$ м;

– толщина

$$S = 0,025L + 4 \quad (S \geq 3, S \leq 8,5 \text{ мм});$$

– стойки фальшборта

$$W = W' \omega_k, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_\sigma \sigma_n}.$$

Здесь $Q = pal$;

$m = 2$ – для стоек фальшборта;

$k_\sigma = 0,65$ – в средней части судна;

$l = h_{\text{фальшб}}$ – пролет стоек (высота фальшборта), м;

a – расстояние между стойками (не более 1,8 м; на лесовозах не более 1,2 м), необходимо согласовать со шпацией, м;

p – расчетная нагрузка на ВП, определенная в п. 1;

$\omega_k = 1,05$ – коэффициент, учитывающий добавку на коррозию.

Подобрать профиль – сварной тавр.

План расчета элементов НП

1. Расчетное давление на НП для грузовых палуб – согласно пп. 2.6.3.1; 1.3.4.1 Правил РМРС:

$$p = p_\Gamma = h_\Gamma \rho_\Gamma g \left(1 + \frac{a_z}{g} \right) \geq 20 \text{ кПа}.$$

Здесь $h_\Gamma = h_{\text{ТВ}}$ – высота укладки груза (высота твиндека), м;

$\rho_\Gamma = \frac{1}{\mu}$ – плотность груза, т/м³;

μ – удельный погрузочный объем груза м³/т;

a_z – расчетное ускорение в вертикальном направлении при качке (может приниматься равным 0 в средней части судна).

Для водонепроницаемых НП должна учитываться также нагрузка при испытаниях непроницаемости (испытательное давление), кПа:

$$p_{\text{исп}} = 7,5h_{\text{н}}.$$

Здесь $h_{\text{н}} = (z_i + \Delta z)$ – испытательный напор, м;

z_i – расстояние от НП до ВП, м;

$\Delta z = 1,5$ м – высота воздушной трубки над ВП, м.

2. Толщина настила НП – согласно п. 2.6.4.1.5 Правил РМРС:

– минимальная

$$S_{\min} = (7 + 0,01L)\sqrt{\eta} \geq 5,5 \text{ – для второй палубы при } L \geq 100 \text{ м;}$$

$S_{\min} = (5 + 0,01L)\sqrt{\eta}$ – для третьей и других нижележащих палуб и платформ;

– расчетная

$$S = \max \left(\sqrt{\frac{p}{k_{\sigma}\sigma_n}} + \Delta S \right).$$

Здесь $m = 15,8$;

a – расстояние между бимсами (шпация), м;

$k_{\sigma} = 0,8$ – для второй палубы в средней части судна при поперечной системе набора; $0,9$ – для остальных палуб и платформ;

$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$ – коэффициент, зависящий от соотношения размеров пластины обшивки: a – меньшего и b – большего;

$\sigma_n = \frac{235}{\eta}$ – расчетный нормативный предел текучести по нормальным напряжениям;

p – расчетная нагрузка на НП (см. п. 1);

$\Delta S = u(T - 12)$ – запас на износ настила, определяемый в соответствии с п. 1.1.5.1;

$u = 0,11$ мм/г – среднегодовое уменьшение толщины (мм/год), принимаемое с учетом условий эксплуатации по табл. 1.1.5.2 Правил РМРС;

T – планируемый срок службы конструкции, принимается 24 года.

3. Бимсы и полубимсы – согласно пп. 2.6.4.3; 1.6.4.1; 1.6.4.2. Момент сопротивления поперечного сечения бимсов и полубимсов должен быть не менее определенного по формулам

$$W = W' \omega_k, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_{\sigma}\sigma_n}.$$

Здесь $Q = pal$;

$m = 10$ – для бимсов;

$k_{\sigma} = 0,65$ – для бимсов НП при поперечной системе набора;
 l – пролет бимсов (наибольший по схеме), м;
 a – расстояние между бимсами, м;
 p – расчетная нагрузка на НП (см. п. 1).

Подобрать профиль.

4. Карлингсы – согласно пп. 2.6.4.4; 1.6.4.1; 1.6.4.2 Правил РМРС:

$$W = W' \omega_K, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_{\sigma} \sigma_n}.$$

Здесь $Q = pbl$;
 $m = 12$ – для карлингсов;
 $k_{\sigma} = 0,7$ – для карлингсов НП в средней части судна;
 l – пролет карлингсов (длина люка), м;
 b – ширина площади палубы, поддерживаемой карлингсом, м;
 p – расчетная нагрузка на НП, определенная в п. 1.

Подобрать профиль – сварной тавр.

5. Концевые люковые бимсы – согласно п. 2.6.4.4 Правил РМРС.

Момент сопротивления поперечного сечения концевых люковых бимсов в расчете можно принять конструктивно – как карлингс.

4.4.2. Танкеры

В соответствии с Правилами РМРС (п. 3.5.2.2) ВП крупных танкеров ($L \geq 80$ м) должна проектироваться по продольной системе набора, что связано с необходимостью обеспечения общей продольной прочности корпуса судна и устойчивости пластин настила при общем продольном изгибе.

Разработка схемы перекрытия ВП

Схема разрабатывается для того же танка в средней части судна, что и в расчете днища.

Границами перекрытия является его опорный контур: борта (внутренние), продольные и поперечные переборки.

В конструктивном отношении перекрытие оказывается простым, так как основным набором его являются продольные подпалубные балки и рамные бимсы.

Расстановка элементов набора, в соответствии с выбранной системой набора, начинается с установки продольных подпалубных балок, установленных на расстоянии шпации, расположение которых должно быть согласовано с продольным набором днища.

Затем устанавливаются рамные бимсы через 3–5 шпаций согласно расположению сплошных флорам на днище.

На танкерах длиной 200 м и более могут быть установлены усиленные продольные балки над днищевыми стрингерами, имеющие момент сопротивления поперечного сечения (W) не менее 70 % от W рамных бимсов (часто их принимают по профилю такими же, как рамные бимсы).

На схеме перекрытия необходимо обозначить элементы и назвать их, а также указать расстояния между набором.

План расчета элементов ВП

1. Расчетное давление на ВП – согласно пп. 2.6.3.1; 1.3.2.2 Правил РМРС:

$$p = 0,7p_w \geq p_{\min}.$$

Здесь $p_w = p_{w0} - 7,5a_x z_i$ – волновая нагрузка выше ЛГВЛ, кПа;

$z_i = D - d$ – расстояние от ЛГВЛ до ВП, м;

p_{w0} – волновая нагрузка на уровне ЛГВЛ, кПа;

a_x – коэффициент, учитывающий отстояние рассматриваемого сечения от носового или кормового перпендикуляра (x_1), для района мидель-шпангоута можно принимать 0,267;

$p_{\min} = 0,015L + 7$ – минимальная нагрузка на ВП в средней части судна.

2. Минимальная толщина настила ВП – согласно п. 2.6.4.1.5 Правил РМРС:

$$S_{\min} = (7 + 0,02L)\sqrt{\eta} \geq 5,5 \text{ при } L \geq 100 \text{ м.}$$

3. Расчетная толщина настила ВП – согласно пп. 2.6.4.1.2; 1.6.4.4 Правил РМРС:

$$S = \max \sqrt{\frac{p}{k_{\sigma}\sigma_n}} + \Delta S.$$

Здесь $m = 15,8$;

a – расстояние между продольными подпалубными балками (шпация), м;

$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$ – коэффициент, зависящий от соотношения размеров пластины обшивки: a – меньшего и b – большего;

$k_{\sigma} = 0,6$ – в средней части судна при продольной системе набора;

$\sigma_n = \frac{235}{\eta}$ – расчетный нормативный предел текучести по нормальным напряжениям;

p – расчетная нагрузка на ВП (см. п. 1);

$\Delta S = u(T - 12)$ – запас на износ настила, определяемый в соответствии с п. 1.1.5.1;

$u = 0,2$ мм/г – среднегодовое уменьшение толщины (мм/год), принимаемое с учетом условий эксплуатации по табл. 1.1.5.2 Правил РМРС;

T – планируемый срок службы конструкции, принимается 24 года.

4. Размеры палубного стрингера – согласно п. 2.6.4.1.4 Правил РМРС:

– ширина

$$b = 5L + 800 \leq 1800;$$

– толщина

$$S_{п.с} = S \text{ или } S_{п.с} = S_{борта} \text{ (принимается наибольшее значение).}$$

Здесь S – толщина настила палубы (см. п. 3);

$S_{борта}$ – толщина бортовой обшивки в верхней части борта, рассчитанная в разделе «Наружная обшивка».

6. Продольные подпалубные балки – в соответствии с пп. 2.6.4.2; 1.6.4.1; 1.6.4.2 Правил РМРС:

$$W = W'\omega_K, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_\sigma \sigma_n}.$$

Здесь $Q = pal$;

$m = 12$ – для продольных подпалубных балок;

$k_\sigma = 0,65$ – для продольных подпалубных балок в средней части судна;

l – пролет продольных балок (расстояние между рамными бимсами), м;

a – расстояние между продольными подпалубными балками (шпация), м;

p – расчетная нагрузка на ВП (см. п. 1);

$$\omega_K = 1,05.$$

Подобрать профиль – симметричный или несимметричный поло-
бульб.

7. Рамные бимсы – в соответствии с пп. 2.6.4.4; 2.6.4.6; 1.6.4.1; 1.6.4.2 Правил РМРС:

$$W = W'\omega_K, \quad W' = \frac{Ql \cdot 10^3}{mk_\sigma \sigma_n}.$$

Здесь $Q = pal$;

$m = 10$ – для рамных бимсов при продольной системе набора;

$k_\sigma = 0,65$ – для рамных бимсов в средней части судна;

l – пролет рамных бимсов (ширина танка – для танкеров с двойными борта-
ми это расстояние от внутреннего борта до ДП), м;

a – расстояние между рамными бимсами, м;
 p – расчетная нагрузка на ВП, определенная в п. 1;
 $\omega_k = 1,05$.

Подобрать профиль – сварной тавр и проверить условие $h_{p.б} \geq 2h_{пр.б}$ (при необходимости увеличить профиль рамного бимса).

4.4.3. Ролкеры

В соответствии с п. 3.2.2.1 Правил РМРС для грузовых палуб ролкеров предусматривается продольная система набора.

Разработка схемы перекрытия ВП

Схема разрабатывается для части палубного перекрытия в средней части судна (как и в расчете днища).

В конструктивном отношении палубы таких судов простые, т.к. не имеют грузовых люков и представлены продольными подпалубными балками, рамными бимсами и часто поставленными карлингсами. Расчет палуб (верхней, главной и других) практически не отличается.

Расстановка элементов набора (в соответствии с выбранной системой набора) начинается с установки продольных подпалубных балок (на расстоянии шпации), расположение которых должно быть согласовано с продольным набором днища.

Затем устанавливаются рамные бимсы через 3–5 шпаций (согласованно со сплошными флорами на днище).

Карлингсы устанавливаются через 3–5 шпаций, заменяя собой соответствующие продольные подпалубные балки.

На схеме перекрытия необходимо обозначить элементы и назвать их, а также указать расстояния между набором.

План расчета элементов ВП

1. Условное расчетное давление на отпечаток колеса – согласно п. 3.2.3.4 Правил РМРС. При расчете конструкций палуб ролкеров определяется два вида расчетных нагрузок: условное расчетное давление на отпечаток колеса (P_1) и равномерное («размазанное») давление груза на конструкцию (пластину) – P_2 .

2. Расчетное давление на конструкцию палуб (от груза) P_2 – согласно п. 3.2.3.4 Правил РМРС.

3. Минимальная толщина настила палуб – согласно п. 2.6.4.1.5 Правил РМРС:

– верхней

$$S_{\min} = (7 + 0,02L)\sqrt{\eta} \geq 5,5 \text{ мм};$$

– средней

$$S_{\min} = (7 + 0,01L)\sqrt{\eta} \geq 5,5 \text{ мм};$$

– грузовой и нижней

$$S_{\min} = (5 + 0,01L)\sqrt{\eta} \geq 5,5 \text{ мм}.$$

4. Расчетная толщина настила палуб – согласно пп. 2.6.4.1.2; 1.6.4.4 Правил РМРС

$$S = mak \sqrt{\frac{p}{k_{\sigma} \sigma_n}} + \Delta S.$$

Здесь $m = 15,8$;

a – расстояние между продольными подпалубными балками (шпация), м;

$k_{\sigma} = 0,6$ – для ВП в средней части судна при продольной системе набора,

$k_{\sigma} = 0,8$ – для СП в средней части судна при продольной системе набора,

$k_{\sigma} = 0,9$ – для ГП и НП в средней части судна при продольной системе набора;

$k = 1,2 - 0,5 \frac{a}{b} \leq 1,0$ – коэффициент, зависящий от соотношения размеров пластины обшивки: a – меньшего и b – большего;

$\sigma_n = \frac{235}{\eta}$ – расчетный нормативный предел текучести по нормальным напряжениям;

p – расчетное давление на палубу (см. п. 2);

$\Delta S = u(T - 12)$ – запас на износ настила, определяемый в соответствии с п. 1.1.5.1;

$u = 0,1$ мм/г – среднегодовое уменьшение толщины (мм/год), принимаемое с учетом условий эксплуатации по табл.1.1.5.2;

T – планируемый срок службы конструкции, принимается 24 года.

5. Размеры палубного стрингера – согласно п. 2.6.4.1.4 Правил РМРС:

– ширина

$$b = 5L + 800 \leq 1800;$$

– толщина

$$S_{п.с} = S_{ВП} \text{ или } S_{борта} \text{ (большее значение);}$$

Здесь $S_{ВП}$ – толщина настила палубы (см. п. 3);

$S_{борта}$ – толщина бортовой обшивки в верхней части борта, рассчитанная в разделе «Наружная обшивка».