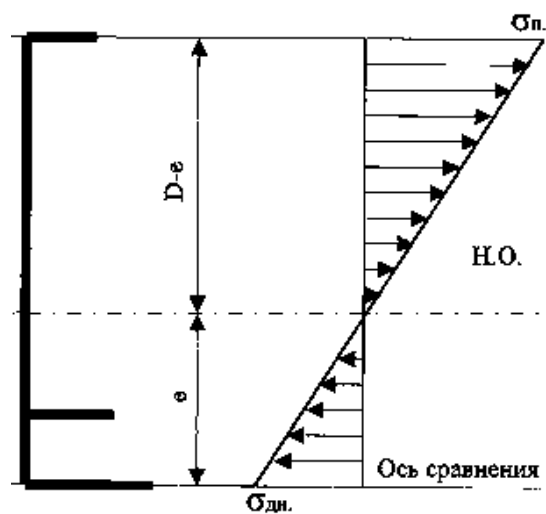


РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА СУДНА

Методические указания

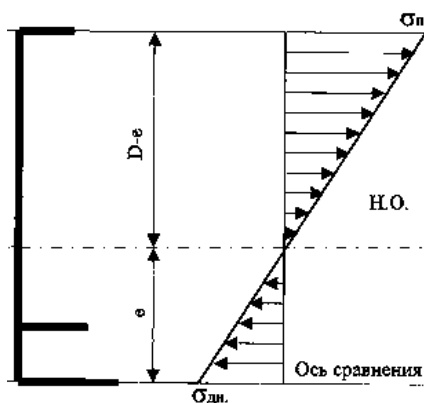


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Океанотехника и кораблестроение»



РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА СУДНА

Методические указания
к выполнению практических заданий

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 629.5.015.4(076.5)
ББК 39.42-04-022я73
Р24

Р е ц е н з е н т:

К. В. Перепада – кандидат технических наук, доцент

Составители: В.С. Игнатович, М.Г. Балашов,
А.В. Кузьмина, А.В. Родькина

Р24 Расчет прочности корпуса судна : методические указания к выполнению практических заданий / Сост. В.С. Игнатович, М.Г. Балашов, А.В. Кузьмина, А.В. Родькина ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет. – Севастополь : СевГУ, 2020. – 46 с.: ил. – Текст: электронный.

Настоящие методические указания предназначены для оказания методической помощи студентам по направлению подготовки 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры и специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники при выполнении практических заданий по дисциплине «Прочность корабля и объектов океанотехники».

УДК 629.5.015.4(076.5)

Рассмотрены и рекомендованы на заседании кафедры «Океанотехника и кораблестроение» в качестве методических указаний к выполнению практических заданий по дисциплине «Прочность корабля и объектов океанотехники» студентами направления подготовки 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры и специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники, протокол № 8 от 26 мая 2020 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Практическое задание 1. Определение внешних сил, вызывающих общий изгиб судна	6
Практическое задание 2. Определение изгибающих моментов и перерезывающих сил при общем изгибе судна	12
Практическое задание 3. Расчёт характеристик эквивалентного бруса и определение нормальных и касательных напряжений в связях корпуса от общего изгиба судна.....	18
Практическое задание 4. Проверка продольной прочности корпуса по Правилам Регистра.....	26
Практическое задание 5. Проверка продольной прочности корпуса по Нормам прочности	31
Практическое задание 6. Проверка местной прочности конструкций корпуса	35
Библиографический список.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Прочность корабля и объектов океанотехники», предусмотренной действующим учебным планом направления подготовки 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры и специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники.

Дисциплина «Прочность корабля и объектов океанотехники» включает проблемы оценки внешних и внутренних сил применительно к корпусным конструкциям, а также проблемы нормирования прочности и оптимального проектирования корпуса. При выполнении практических заданий обучающимися используются теоретические методы расчета конструкций, изученные в дисциплине «Строительная механика корабля». Выполнение расчетов прочности корпуса невозможно без глубокого знания конструкций судов, рассматриваемых при изучении дисциплины «Конструкция корпуса судов», «Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники», а также основных положений теории корабля (плавучесть, начальная остойчивость, качка).

С учетом изложенного целью методических указаний является оказание методической помощи при выполнении практических заданий, развития умения использования полученных в указанных выше дисциплинах теоретических и практических знаний. При подготовке материала методических указаний авторы в основном руководствовались Международной системой единиц СИ. Однако в отдельных случаях для удобства применены единицы измерения физических величин, принятых Правилах Регистра [1] (далее Правилам), нормативах и расчетах, используемых в судостроении. В этом случае в квадратных скобках указывались результаты в единицах системы СИ.

Программой дисциплины предусмотрено выполнение практических заданий, темой которых является расчет общей и местной прочности корпуса судна. Рассмотрены основные методы вычисления изгибающих моментов и перерезывающих сил при общем изгибе корпуса судна на тихой воде и волнении. Изложены требования Правил классификации и постройки морских судов Регистра к определению момента сопротивления поперечного сечения и жесткости корпуса судна, а также рекомендации Норм прочности 1988 [2] по проверке общей прочности корпуса по критериям эксплуатационной и предельной прочности.

Приведены способы расчета пластин, ребер жесткости и перекрытий. Для проверки прочности перекрытий рекомендуется расчет по методу конечных элементов, для которого на кафедре имеется программа, реализованная на ЭВМ. При выполнении расчетов прочности студентам

рекомендуется принять вариант судна, основные размеры и конструкция которого были определены при разработке курсового проекта по дисциплине «Конструкция корпуса судов», «Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники».

Практическое задание 1.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВНЕШНИХ СИЛ, ВЫЗЫВАЮЩИХ ОБЩИЙ ИЗГИБ СУДНА

Цель работы. Выполнить разбивку масс судна на статьи нагрузки, распределить статьи по теоретическим отсекам, определить центр тяжести судна и построить кривую масс.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Внешние силы, вызывающие общий изгиб судна

Корпус судна представляет собой тонкостенную коробчатую балку переменного сечения, находящуюся под действием масс и сил поддержания воды.

Действующие на корпус судна силы поддержания и весовая нагрузка и массы распределяются по его длине по различным законам, не являются уравновешенными на каждом участке (теоретическом отсеке) и вызывают общий изгиб корпуса. Вследствие этого в поперечных сечениях корпуса возникают изгибающие моменты и перерезывающие силы, которые вызывают в них соответствующие напряжения.

Чтобы установить величины изгибающих моментов и перерезывающих сил, необходимо построить эпюру нагрузки, которая получается алгебраическим суммированием весовой нагрузки и сил поддержания воды в каждом сечении корпуса судна. Интегрируя кривую нагрузки два раза по длине, получают последовательно кривые перерезывающих сил и изгибающих моментов. Изгибающие моменты и перерезывающие силы при общем изгибе корпуса принято подразделять на следующие.

а) Изгибающий момент и перерезывающая сила на тихой воде, возникающие в поперечных сечениях судна вследствие неуравновешенности весовой нагрузки и сил поддержания воды в каждом сечении;

б) Волновой изгибающий момент и перерезывающая сила на волнении, возникающие в поперечных сечениях судна, находящегося на взволнованной поверхности воды и испытывающего качку, вследствие изменения профиля действующей ватерлинии по отношению к уровню спокойной воды. Расчёт волновых моментов при качке на нерегулярном волнении требует большой вычислительной работы, поэтому, согласно установившейся практике, до последнего времени использовалась традиционная схема статической постановки судна на волну, высота которой устанавливалась с учётом вероятностного характера волнового процесса. Более точное значение волновых изгибающих моментов и перерезывающих сил даёт методика, рекомендуемая Регистром [1] и Нормами прочности [2].

в) Изгибающий момент и перерезывающая сила от удара о волну (слеминга) оголяющейся при продольной качке носовой оконечности днища корпуса в настоящем задании не определяется.

1.2. Распределение весовой нагрузки судна по теоретическим отсекам

Для определения изгибающего момента необходимо распределение весовой нагрузки по длине судна [3].

Условимся разбивать длину судна на 20 равновеликих отсеков (теоретических шпаций), счёт теоретических шпангоутов вести с кормы в нос. Ось X направлена в нос, начало координат на миделе.

Для построения кривой нагрузки необходимо иметь данные о расположении по длине судна всех грузов, составляющих водоизмещение судна:

а) укрупнённые статьи нагрузки, включающие в себя вес всех грузов, корпуса и оборудования;

б) чертёж продольного разреза судна с расположением поперечных переборок, позволяющий определить районы, занимаемые каждым грузом в отдельности.

Разбивка отдельных составляющих нагрузки по теоретическим шпациям должна проводиться так, чтобы сохранялась величина нагрузки и положение ее центра масс.

При практическом построении кривой весовой нагрузки необходимо учитывать следующие правила.

а) Вес данного груза P , распределённого по какому-либо закону на протяжении одного или двух смежных отсеков (рис. 1.1), представляется эквивалентными ему равномерно распределёнными в двух смежных отсеках нагрузками P_1 и P_2 , равными:

$$\begin{cases} P_1 = P \cdot \left(0.5 + \frac{c}{\Delta L}\right) \\ P_2 = P \cdot \left(0.5 - \frac{c}{\Delta L}\right) \end{cases} \quad (1)$$

где $\Delta L = \frac{L}{20}$ – теоретическая шпация, м;

L – длина судна, м;

c – отстояние центра тяжести груза P от i -го шпангоута, м.

Такой способ разложения нагрузки даёт возможность сохранить её величину и положение центра тяжести.

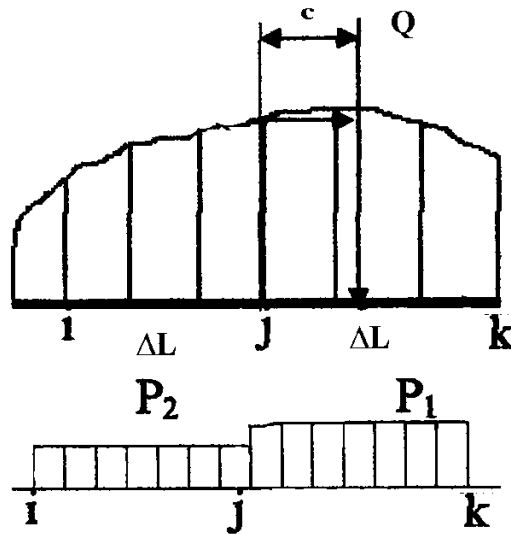


Рис. 1.1. Разбивка весовой нагрузки по теоретическим шпациям

б) Если центр тяжести сосредоточенного груза совпадает с границей двух теоретических шпаций, то к каждой из шпаций следует относить массу $P_1 = 0,5 \cdot P$, где P – полный вес груза, т;

в) Грузы массой $P \leq \frac{\Delta}{100}$ могут быть равномерно разнесены по всей длине шпации, независимо от действительного положения их центра тяжести.

г) Если груз равномерно распределён на части длины судна, то такой груз можно разбить на 3 составляющие: P_1, P_2, P_3 . Среднюю часть P_2 следует расположить равномерно на полностью загруженные отсеки, а с частями P_1 и P_3 поступить так, как указано в пунктах «а» и «в»;

д) если на судне имеются грузы, центры тяжести которых находятся за пределами крайних (0 и 20) шпангоутов (выступающие части), то они учитываются в нагрузке тяжести следующим образом.

Груз P с центром тяжести, отстоящим на расстоянии «с» от крайнего шпангоута, заменяется двумя распределёнными нагрузками

Нагрузка P_1 прибавляется к нагрузке крайней шпации, а P_2 вычитается из нагрузки шпации, смежной с крайней шпацией,

$$\left. \begin{aligned} P_1 &= \left(\frac{3}{2} + \frac{c}{\Delta L} \right) \cdot P \\ P_2 &= \left(\frac{1}{2} + \frac{c}{\Delta L} \right) \cdot P \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

е) Распределение нагрузки металлического корпуса по длине судна производится в виде трапеции, изображённой на рис. 1.2.

Значение ординат а, в и с в долях от P_K/L даны в табл. 1.1,

где P_K – нагрузка корпуса судна, т.

Таким образом, нагрузка корпуса на $i - j$ шпации определяется по формуле

$$P_{ij} = \frac{P_k}{20} \cdot a_{ij}. \quad (3)$$

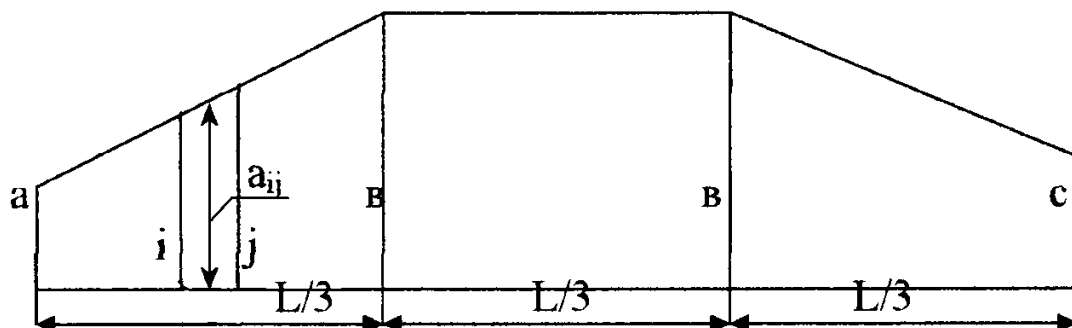


Рис. 1.2. Весовая нагрузка корпуса, представленная в виде трапеции

Т а б л и ц а 1.1

Значения ординат a, b, c

Коэффициенты полноты	a	b	c
Острые $\delta \leq 0,7$	0,65	1,20	0,57
Полные $\delta > 0,7$	0,71	1,17	0,60

Все грузы, приходящиеся на каждую теоретическую шпацию, суммируют и разносят равномерно по длине шпаций, получают ординаты кривой масс $P(x)$, соответствующие средним ординатам шпаций.

Для облегчения контроля вычислений и большей их наглядности разбивку масс по отсекам следует производить в табличной форме (табл. 1.2).

На основании данных таблицы 1.2 можно определить абсциссу центра тяжести судна x_g , м.

$$x_g = \frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} \cdot \Delta L. \quad (4)$$

По данным строки «сумма сверху» следует построить гистограмму масс $P(x)$, которая показывает распределение масс, составляющих водоизмещение судна, по длине судна.

Для расчёта изгибающих моментов, перерезывающих сил необходимы следующие исходные данные, приведённые в табл. 1.2 и 1.3.

Т а б л и ц а 1.2

Распределение нагрузки по шпациям

Укруп- ненные статьи нагрузки	Масса по нагрузке, т	Шпация																			Суммы слева	
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	
1. Кор- пус с обору- довани- ем																						
2. Ме- ханиз- мы																						
3. Груз																						
4. Снаб- Снаб- жение экипа- жа																						
5. Запас водо- изме- щения																						
6. Запас топлива																						
Σ	Σ ₁																					Σ ₁
Мно- жители плеч	x																					
Произ- ведения	Σ ₂ = Σ ₁ · x																					Σ ₂ = Σ ₁ · x

Примечание к табл. 1.2. Множители, представляют собой условные абсциссы центра тяжести шпации от миделя. Произведения – условные моменты. Числа столбца «Величина нагрузки» и «Сумма слева» должны совпадать. Суммы Σ_1 по вертикали и горизонтали должны быть равны.

Т а б л и ц а 1.3

Распределение нагрузки массы по шпациям

Шпация	Нагрузка по шпациям
0-1	
1-2	
.....	
18-19	
19-20	

2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать разбивку нагрузки судна на статьи, распределение статей по теоретическим отсекам в табличной форме, определение центра тяжести судна и построение кривой нагрузки.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Назовите внешние силы, вызывающие общий изгиб судна.
- 2) Основные статьи нагрузки и их распределение по длине судна.
- 3) Метод распределения веса корпуса по длине судна.
- 4) Определение центра тяжести судна по длине.
- 5) Построение кривой веса судна по длине.

Практическое задание 2.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБАЮЩИХ МОМЕНТОВ И ПЕРЕРЕЗЫВАЮЩИХ СИЛ ПРИ ОБЩЕМ ИЗГИБЕ СУДНА

Цель работы: Определить ординаты теоретических шпангоутов для вычисления погруженного объёма корпуса. Используя результаты разбивки нагрузки масс по теоретическим шпациям, по программе STH на ЭВМ выполнить расчет изгибающих моментов и перерезывающих сил на тихой воде и на волнении. Построить соответствующие эпюры изгибающих моментов и перерезывающих сил.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Определение исходных данных для расчета изгибающих моментов и перерезывающих сил при общем изгибе судна

Для расчета сил поддержания необходимо определить по теоретическому чертежу рассматриваемого судна или близкого прототипа ординаты теоретических шпангоутов для разных ватерлиний, по которым вычисляются силы поддержания для различных режимов волнения. Суммарная нагрузка от сил веса корпуса и сил поддержания дважды интегрируется, в результате чего определяются перерезывающие силы и изгибающие моменты на тихой воде, вершине и подошве волны.

Вычисление перерезывающих сил и изгибающих моментов производится по программе STH, основными этапами работы которой являются:

- построение и печать масштаба Бонжана;
- вычисление трохоидального профиля волны;
- удифферентовка судна;
- вычисление перерезывающих сил и изгибающих моментов.

Результаты расчёта на ЭВМ выдаются в табличной и графической форме с указанием значений изгибающих моментов и перерезывающих сил на каждом теоретическом шпангоуте на тихой воде, на вершине и подошве волны.

По данным расчёта следует выполнить анализ, включающий в себя установление характера изгиба корпуса на тихой воде и на волнении, определение расчётных значений перерезывающих сил и изгибающих моментов.

1.2. Запуск и выполнение программы

Программа расчета хранится в директории STH и называется STH.EXE.

Для запуска программы Вам нужно войти в директорию проекта, набрать командную строку `<диск:> \STH\STH` и нажать клавишу “Enter”.

Файл исходных данных должен иметь имя XXXXXXXX.DAT, где XXXXXXXX – идентификатор проекта – произвольная буквенно-цифровая комбинация не более 8-ми символов.

После запуска программы на экране появятся комментарии и диалог для ввода данных.

Начинает работу программа расчета перерезывающих сил, изгибающих моментов и прогибов.

Укажите идентификатор проекта: XXXXXXXX (без расширения)

Задайте высоту волны в метрах

(при нулевом значении постановки на волну не будет): 5

При высоте волны равной 0 длина волны не запрашивается (задается равной 1)

Если высота волны не 0, то

Задайте длину волны в метрах:

Далее запрашивается:

Плотность воды 1.025 т/м³ (Y/N):

Для подтверждения нажать клавишу “Enter”. Если ответ “N”, то:

Задайте плотность воды:

После этого на экран выдается вся информация, введенная в диалоге, и предоставляется возможность ее проверки и подтверждения:

Вы ввели общие данные для расчета:

Файл с описанием корпуса:...

E= ...

Плотность воды ...

Шпация ...

Количество шпангоутов ...

Длина волны ...

Высота волны ...

Моменты инерции заданы (не заданы)

Вас устраивают эти данные?(Y/N):

Для подтверждения достаточно нажать клавишу “Enter”. Если “N”, программа заканчивает работу сообщением:

Ошибка при вводе исходных данных.

В противном случае программа начнет расчет, взяв остальные исходные данные из файла описания проекта (см. п.2).

Результаты счета и масштаб Бонжана будут помещены программой в файлы, находящиеся в той же директории, что и файл описания проекта, с именами:

XXXXXXXXX.REZ – результаты

XXXXXXXXX.BON – масштаб Бонжана,

где XXXXXXXX – идентификатор проекта.

Вы можете просмотреть их с помощью любого текстового редактора и при необходимости вывести на печать.

Файл описания проекта

Вся необходимая информация по проекту должна содержаться в текстовом файле MS DOS, так называемом файле описания проекта.

Файл описания проекта должен иметь имя (называемое в дальнейшем – идентификатор проекта) и расширение .DAT , например:

11570.DAT , где 11570 – идентификатор проекта.

В нем пользователь должен задать следующие исходные данные:

- Количество шпангоутов (целое число ≤ 50);
- Длина шпации (м, действительное положительное число);
- Модуль Юнга (т/м^2)
- Моменты инерции (м^4)
- Обводы корпуса (м)
- Нагрузки (т)

Количество шпангоутов, длина шпации и модуль Юнга задаются в удобном для Вас виде, разделенные пробелами (не имеет значения на одной или разных строках).

Массиву моментов инерции должна предшествовать строка

Моменты инерции

Массив моментов инерции заносится с новой строки в форме положительных десятичных чисел с интервалом между ними по меньшей мере в один пробел и может занимать произвольное количество строк. Каждому теоретическому шпангоуту должен соответствовать момент инерции.

После моментов инерции (если их нет - после модуля Юнга) задается описание корпуса: на отдельной строке - слово

Обводы

Далее – с новой строки два целых числа:

№ шпангоута количество точек на нем

Со следующей строки набираются координаты $\{y,z\}$ этих точек, представляющие из себя пары десятичных чисел. Разделителем между числами должен быть хотя бы один пробел. После того, как введена информация по одному шпангоуту, снова набирается

№ шпангоута количество точек на нем и т.д.

При задании обводов необходимо соблюдать следующие условия:

Длина между перпендикулярами разбивается на 20 теоретических

- шпаций, и номера шпангоутов в ее пределах 0–20. Дополнительные шпангоуты в нос имеют отрицательные номера, в корму – номера > 20. Нумерация должна быть непрерывной (без пропусков).

- Общее количество шпангоутов и количество точек на каждом из них должно быть не больше 50.

- Предполагается, что обводы корпуса симметричны относительно ДП, и задается только правая часть.

- Первая точка по каждому из шпангоутов должна лежать в ДП.

Для каждой следующей точки должно выполняться условие $Z_{i+1} \geq Z_i$;

- Последняя точка задается на пересечении борта с верхней палубой.

- Точки должны быть заданы на таком расстоянии, чтобы участок шпангоута между ними можно было с достаточной степенью точности считать прямолинейным.

После обводов корпуса необходимо на отдельной строке набрать название варианта нагрузки, например:

Весовая нагрузка

и с новой строки – массив нагрузок, распределенных по теоретическим шпациям (формат – десятичное число, разделитель – пробел). Количество вариантов нагрузки не ограничено, но перед каждым нужно написать его название.

Пример файла описания проекта

```
24
10.3
2.1e7
Обводы
-1 1
0 20.8
0 4
0 11.0 5.125 14.00 7.875 20.875 9.75 23.55
1 4
0.0 5.125 15.5 14.00 19.0 21.25 19. 23.3
2 6
0.0 0.00 4.625 0 8.5 4. 18.125 9.875 19.0 14.00 19.0 23.30
3 5
0.0 0.0 14.625 0.0 16.75 2.20 19.0 14.00 19.0 23.30
4 7
0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.50 16.5 1.0 16.850 2.2 19.0 14. 19. 23.3
5 7
0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.50 16.5 1.0 16.850 2.2 19.0 14. 19. 23.3
6 7
```


0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.20 19.0 14. 19. 20.3
 7 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 8 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 9 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 10 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 11 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 12 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 13 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 14 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 15 7
 0.0 0.0 15.5 0.0 16.125 0.5 16.5 1.0 16.850 2.200 19.0 14. 19. 20.3
 16 5
 0.0 0.0 11.75 0.0 16.75 1.50 19. 14. 19.0 20.30
 17 5
 0.0 2.0 9.0 2.0 17.375 4.625 19. 14. 19.0 20.30
 18 5
 0.0 5.125 9.0 5.125 17.75 7.75 19.0 14.00 19.0 20.30
 19 5
 0.0 8.25 9. 8.25 18.375 11. 19.0 14.00 19.0 20.30
 20 4
 0.0 11. 9. 11. 19.0 14.00 19.0 20.3
 21 3
 0.0 14.0 19.0 14.0 19.0 20.3
 22 1
 0. 0.
 Нагрузка
 830.61 1177.41 1598.73 1733.22 1867.44 2567.86 6777.93 4755.61 5647.14
 5832.92 3782.97 4074.81 3317.05 4383.69 4371.35 2185.45 2340.99 3013.51
 2140.46 1706.46 1472.51 540.52 73.7

2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать исходные данные для программы расчета и результаты вычисления изгибающих моментов и перерезывающих сил в табличной и графической форме.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Как определяется полная нагрузка при общем изгибе судна.
- 2) Назовите основные исходные данные для расчета изгибающих моментов и перерезывающих сил по программе STN.

Практическое задание 3.
РАСЧЁТ ХАРАКТЕРИСТИК ЭКВИВАЛЕНТНОГО БРУСА
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ И КАСАТЕЛЬНЫХ
НАПРЯЖЕНИЙ В СВЯЗЯХ КОРПУСА
ОТ ОБЩЕГО ИЗГИБА СУДНА

Цель работы: вычертить расчетную схему эквивалентного бруса корпуса, рассчитать геометрические характеристики поперечного сечения и вычислить нормальные и касательные напряжения в связях корпуса при изгибе на вершине и подошве волны.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Расчёт характеристик эквивалентного бруса в первом приближении

Под эквивалентным брусом (рис. 3.1) понимают совокупность всех продольных связей корпуса судна, принимающих участие в восприятии общего изгиба. Для проверки прочности необходимо найти момент инерции, моменты сопротивления и статические моменты миделевого поперечного сечения корпуса судна, рассматривая его в целом как балку.

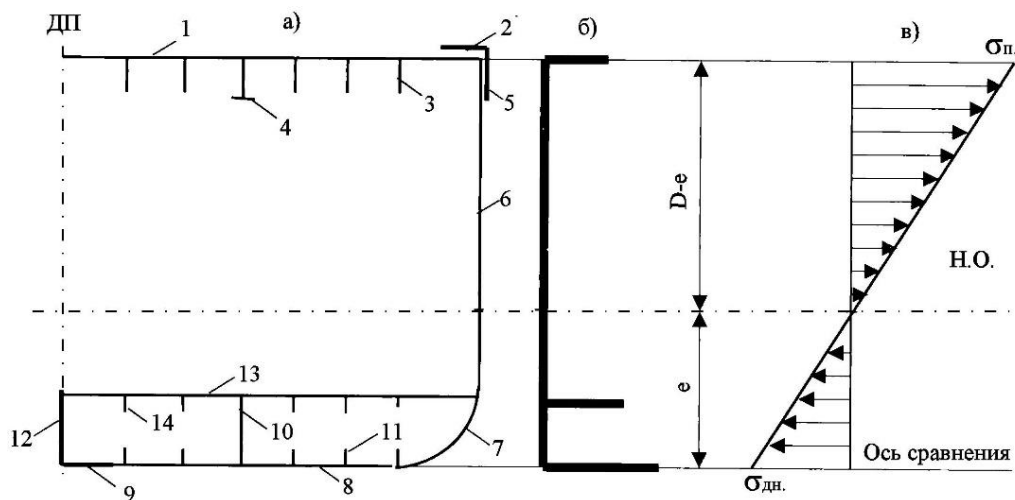


Рис. 3.1. Схема поперечного сечения корпуса и эквивалентный брус:

а – продольные связи; б – эквивалентный брус; в – распределение нормальных напряжений по высоте корпуса (эквивалентного бруса).

1 – лист настила верхней палубы; 2 – палубный стрингер; 3 – продольные подпалубные балки; 4 – карлингс; 5 – ширстрек; 6 – обшивка борта; 7 – скуловой лист; 8 – обшивка днища; 9 – горизонтальный киль; 10 – днищевой стрингер; 11 – продольные балки днища; 12 – вертикальный киль; 13 – настил второго дна; 14 – продольные балки второго дна

Площади сечений продольных связей, участвующих в общем изгибе, включаются в первом приближении в состав эквивалентного бруса полностью, хотя некоторые из них ввиду возможной потери устойчивости или наличия начальной погиби могут оказаться работающими недостаточно эффективно. Оценка влияния неполного участия таких связей в общем изгибе производится в последующих приближениях с применением редуцирования.

При расчёте момента сопротивления сечения корпуса учитываются все непрерывные продольные связи, включая непрерывные продольные комингсы и участки палуб между ними и бортом. Короткие продольные связи, высота которых соизмерима с их длиной (короткие надстройки и рубки, платформы, фундаменты, и т.д.), не включаются в состав эквивалентного бруса, так как степень их участия в общем изгибе незначительна. При использовании стали повышенной прочности продольные непрерывные связи, выполненные из этой стали, должны простираться в нос и корму за пределы средней части судна настолько, чтобы момент сопротивления сечения корпуса в месте изменения предела текучести стали имел величину не менее требуемой для такого же корпуса, выполненного из обычной стали.

Большие вырезы (длиной более 2.5 м или шириной более 1.2 м) должны исключаться из площадей сечений, учитываемых при расчёте момента сопротивления сечения корпуса.

Меньшие по размерам вырезы могут не учитываться при условии, если:

- суммарная ширина вырезов и неэффективных участков в одном поперечном сечении корпуса не превышает $0,06(B-\Sigma b)$, где Σb – суммарная ширина больших вырезов, или уменьшает момент сопротивления не более чем на 3 %;

- высота облегчающих вырезов в продольных элементах набора не превышает 25 % высоты стенки.

В соответствии с Нормами [2] расчетное состояние корпуса принимается в середине срока службы с учетом износа за 12 лет. Правилами Регистра [1] установлены стандартные скорости коррозии U_i (мм/год). В табл. 3.1 приведены величины U_i (мм/год) для продольных связей сухогрузных и наливных судов. Поэтому все величины, вводимые в эквивалентный брус, должны быть уменьшены на величину, мм:

$$\Delta S = U \cdot (T - 12) \quad (1)$$

Коэффициент ω_K , учитывающий поправку на износ к площади сечения стенки и моменту сопротивления балок каждого профиля определяется по формуле:

$$\omega_K = 1 + \alpha_K \cdot \Delta S, \quad (2)$$

где $\alpha_K = 0.07 + \frac{6}{W} \leq 0.25$ при $W < 200 \text{ см}^3$;
 $\alpha_K = \frac{1}{0.15} \cdot \left(0.01 - \frac{1}{W}\right)$ при $W \geq 200 \text{ см}^3$.

Т а б л и ц а 3.1

**Нормативные значения среднегодового уменьшения толщины
связей корпуса U_i , мм/год**

Наименование связей	U_i	
	Группа 1	Группа 2
1. Обшивка и настилы		
1.1 Верхняя палуба	0.10	0.25
1.2 Нижняя палуба	0.11	
2. Борт		
2.1 Надводный	0.10	0.13
2.2 В районе переменной ВЛ	0.17	0.19
2.3 Подводный	0.14	0.16
3. Днище		
3.1 При отсутствии второго дна	0.14-0.20	0.17-0.20
3.2 При наличии второго дна	0.14-0.20	0.14-0.20
4. Второе дно	0.12-0.20	0.17-0.20
5. Продольные, поперечные переборки, второй борт	0.12	0.15-0.20
6. Продольные и поперечные балки набора		
6.1 Палуб	0.12	0.20
6.2 Борта, переборок	0.10	0.25
6.3 Днища	0.14	0.20

Примечание: Группа 1 – сухогрузные суда и аналогичные по условиям эксплуатации; Группа 2 – наливные и комбинированные суда и аналогичные им по условиям эксплуатации.

Элементы эквивалентного бруса вычисляются в табл. 3.2 (для половины сечения). За ось сравнения обычно принимают основную линию (нижнюю кромку обшивки днища).

Собственные моменты инерции ($\text{см}^2\text{м}^2$) следует учитывать только для связей, ориентированных вертикально и имеющих сравнительно большую высоту – листы вертикального киля, стрингеров, ширстрека, обшивки борта и т.п. по формулам:

- для прямоугольного сечения

$$I = F \cdot \frac{h^2}{12}; \quad (3)$$

- для скулового листа, заменяя его одной четвертью окружности

$$I = 0.096 \cdot r^2 \cdot F; \quad (4)$$

где F – площадь связи, см^2 ;

h – высота связи, м;

r – радиус закругления скулы, м.

Т а б л и ц а 3.2

Расчет элементов эквивалентного бруса

Наименование связи	Размеры связи, мм			Площадь сечения, см^2	Отстояние от оси сравнения, м	Статический момент, $\text{см}^2\text{м}$	Переносный момент инерции, $\text{см}^2\text{м}^2$	Собственный момент инерции, $\text{см}^2\text{м}^2$	Напряжение от общего изгиба в первом приближении, МПа		Эйлеровы напряжения, МПа
	b	t	кол-во						на вершине волны	на подошве волны	
лист настила верхней палубы											
палубный стрингер											
...											
горизонт. киль											
наружная обшивка днища											
настил 2-го дна											
продольные балки второго дна											
Суммы				A		B	C				

Заполнив соответствующие столбцы табл. 3.2, можно вычислить элементы эквивалентного бруса:

- отстояние нейтральной оси сечения от оси сравнения, м

$$e_{\text{НО}} = \frac{B}{A}; \quad (5)$$

- момент инерции относительно нейтральной оси, (см²м²)

$$I_{HO} = 2 \cdot \left(C - \frac{B^2}{A} \right), \quad (6)$$

где A – сумма площадей продольных связей (столбец 3), см²;

B – сумма статических моментов площадей продольных связей относительно оси сравнения (столбец 5), см²м;

C – момент инерции полусечения, относительно оси сравнения (сумма столбцов 6 и 7), см²м²;

момент сопротивления поперечного сечения относительно крайней связи (фибры) палубы, см²м

$$W_{\Pi} = \frac{I_{HO}}{z_{\Pi}}; \quad (7)$$

где z_{Π} – отстояние от нейтральной оси до крайней связи (фибры) палубы, м;

момент сопротивления поперечного сечения относительно днища, см²м

$$W_{\text{д}} = \frac{I_{HO}}{z_{\text{д}}}; \quad (8)$$

где $z_{\text{д}}$ – отстояние от нейтральной оси до связи (фибры) днища, м.

1.2. Вычисление нормальных напряжений в первом приближении

При общем изгибе в поперечных сечениях корпуса возникают нормальные напряжения, уравнивающие внешний изгибающий момент. Нормальные напряжения в продольных связях вычисляются по формулам:

на вершине волны

$$\sigma = K_{\text{ВВ}} \cdot z_i; \quad (9)$$

на подошве волны

$$\sigma = K_{\text{ПВ}} \cdot z_i; \quad (10)$$

где $K_{\text{ВВ}}$, $K_{\text{ПВ}}$ – коэффициенты, $\frac{\text{кН}}{\text{см}^2\text{м}}$, соответственно равные

$$K_{\text{ВВ}} = \frac{M_{\text{ВВ}}}{I_{HO}} * 10, \quad K_{\text{ПВ}} = \frac{M_{\text{ПВ}}}{I_{HO}} * 10,$$

где $M_{\text{ВВ}}$, $M_{\text{ПВ}}$ – расчетные изгибающие моменты для положения судна на вершине и подошве волны соответственно, кНм;

I_{H0} – момент инерции сечения относительно нейтральной оси, $\text{см}^2\text{м}^2$;
 z_i – отстояние рассматриваемой связи от нейтральной оси, положительное при отсчете вниз, м.

Изгибающий момент считается положительным при перегибе судна.

1.3. Проверка устойчивости пластин

Проверка устойчивости пластин производится для определения возможности потери устойчивости при сжимающих напряжениях от общего изгиба и необходимости редуцирования пластин, теряющих устойчивость.

Все пластины настила палубы, обшивки борта, днища и настила второго дна при проверке устойчивости считаются свободно опертыми по контуру, образованному соответствующими балками (рис. 3.2, рис. 3.3).

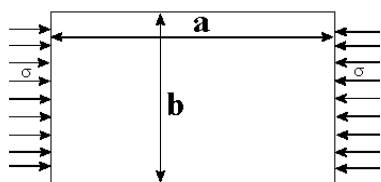


Рис. 3.2 Продольная система набора

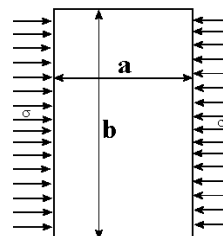


Рис. 3.3. Поперечная система набора

Эйлеровы напряжения, МПа:

а) палуба, борт, днище при продольной системе набора

$$\sigma_{\text{э}} = 80 \cdot \left(\frac{100 \cdot t}{b} \right)^2; \quad (11)$$

б) палуба, борт, днище при поперечной системе набора

$$\sigma_{\text{э}} = 20 \cdot \left(\frac{100 \cdot t}{a} \right)^2. \quad (12)$$

Допускаемые напряжения, МПа

$\sigma_{\text{д}} = 0,5 \cdot \sigma_{\text{Т}}$ – для сухогрузных судов;

$\sigma_{\text{д}} = 0,75 \cdot \sigma_{\text{Т}}$ – для наливных судов,

где $\sigma_{\text{Т}}$ – предел текучести стали, МПа.

1.4. Проверка устойчивости продольных ребер жесткости

Неразрезные ребра жесткости палубы и днища считаются свободно опертыми. Определенные для них эйлеровы напряжения корректируются с помощью графика [3], позволяющего определить критические напряжения.

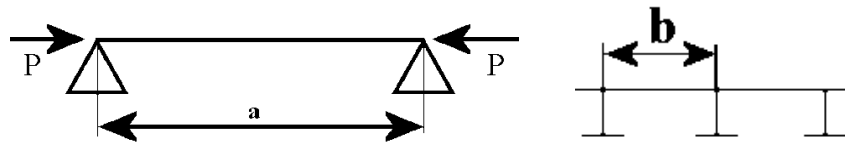


Рис. 3.4. Схема ребер жесткости неразрезных ребер

Эйлеровы напряжения ребер рассчитываются по формуле

$$\sigma_{\text{Э}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot i}{a^2 \cdot (F + b \cdot t)}, \quad (13)$$

где i – момент инерции поперечного сечения ребра с присоединенным пояском, шириной b , м^4 ;

F – площадь сечения ребра, см^2 ;

a – длина ребра, м ;

E – модуль упругости, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$.

При $\sigma_{\text{Э}} > 0,5 \cdot \sigma_{\text{Т}}$ необходимо учесть отклонение от закона Гука и определить критическое напряжение. Критические напряжения должны превышать напряжения сжатия ребер $\sigma_{\text{кр}} > \sigma_{\text{сж}}$,

где $\sigma_{\text{сж}} = \frac{P}{F}$ – сжимающее напряжение, МПа .

1.5 Определение касательных напряжений при общем изгибе корпуса

Расчет проводится в табличной форме (табл. 3.3). Величина касательных напряжений определяется по формуле

$$\tau = \frac{N \cdot S}{I \cdot t}, \quad (14)$$

где N – перерезывающая сила в данном сечении, кН ;

S – статический момент поперечного сечения продольных связей, лежащих по одну сторону от точки, для которой определяются касательные напряжения относительно нейтральной оси, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$;

I – момент инерции сечения относительно нейтральной оси, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$;

t – толщина связи, в которой определяются касательные напряжения, см .

Момент инерции I и S должны вычисляться для сечения, в котором действует наибольшая перерезывающая сила. Однако, так как отношение I/S для различных сечений корпуса изменяется значительно меньше, чем

величины I и S в отдельности, допускается подставлять в формулу значения I и S , вычисленные для миделевого сечения по результатам первого

приближения (без учета редуцирования связей и смещений нейтральной оси сечения, так как это мало сказывается на τ).

Т а б л и ц а 3.3

Расчет касательных напряжений

Наименование	Размер, мм	Площ., F, см ²	Отст. от н.о., м	Стат. мом. см ² *м	$\Sigma\Sigma$	Касательные напряжения МПа
1. ...						
2. ...						
3. ...						
4. ...						

Для танкеров при определении касательных напряжений в сечениях корпуса, имеющих продольные переборки, можно считать, что эти напряжения в обшивке борта и обшивке продольной переборки на одном уровне от нейтральной оси сечения одинаковы. В связи с этим в качестве толщины t в формулу (14) необходимо подставить суммарную толщину обшивки борта и продольной переборки в рассматриваемом сечении относительно нейтральной оси сечения корпуса.

2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать расчетную схему эквивалентного бруса, расчет его геометрических характеристик, расчет нормальных напряжений в связях корпуса, проверку устойчивости пластин и ребер жесткости, определение касательных напряжений в связях корпуса и их эпюры.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Дать определение эквивалентного бруса корпуса. Какие связи в него входят?
- 2) Назвать основные геометрические характеристики эквивалентного бруса.
- 3) Назовите формулы для определения эйлеровых напряжений в пластинах и ребрах жесткости.
- 4) Объясните построение эпюр касательных напряжений.

Практическое задание 4.

ПРОВЕРКА ПРОДОЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА ПО ПРАВИЛАМ РЕГИСТРА

Цель работы: изучить метод проверки продольной прочности корпуса судна по Правилам Регистра [1] при общем изгибе. Выполнить расчет момента сопротивления корпуса и сравнить его с моментом сопротивления, определенным в задании 3.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Требование Правил к судам

Требования Правил [1] распространяются на суда неограниченного района плавания длиной $L \geq 65$ м, кроме судов, имеющих:

- соотношение главных размерений $L/B < 5$, $B/D \geq 2,5$,
 - коэффициент общей полноты $C_b < 0,6$,
 - спецификационную скорость V , превышающую $V = k \cdot \sqrt{L}$, уз,
- где $k = 2,2$ при $L < 100$ м,
- а также судов, перевозящих грузы при высокой температуре, и судов необычной конструкции.

Расчетные нагрузки, определяющие продольную прочность судна, включают изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде, волновые перерезывающие силы и моменты, а для судов с большим развалом бортов – изгибающие моменты, обусловленные ударом волн в развал бортов.

Расчетные волновые и ударные нагрузки могут определяться по формулам, приведенным в Правилах и по методике с учетом качки на волнении, долговременного распределения волновых режимов и районов плавания. Положительными считаются:

- перерезывающие силы, направление вниз;
- изгибающие моменты, вызывающие перегиб корпуса;
- поперечные нагрузки, направленные вниз.

Размерности физических и геометрических величин приняты в соответствии с Правилами.

1.2. Изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде и волнении

Изгибающие моменты и перерезывающие силы на тихой воде должны рассчитываться для всех реально возможных случаев распределения весовой нагрузки по длине судна, в т. ч. в полном грузу и в балласте.

Как правило, должны быть рассмотрены следующие варианты нагрузки.

а) Для сухогрузных судов, судов с широким раскрытием палуб, судов ро-ро, рефрижераторов, навалочников, рудовозов:

- равномерная нагрузка при полной осадке;
- балластное состояние;
- специальные случаи (загрузка контейнерами, легким и тяжелым грузом при наличии пустых отсеков, наличие палубного груза и т. д);
- загрузка при постановке в док.

б) Для наливных судов:

- равномерная загрузка, исключая сухие отсеки;
- частичная и балластная загрузка;
- неравномерная загрузка;
- состояние загрузки в начале, середине и конце рейса;
- загрузка при постановке в док.

в) Для комбинированных судов:

- см. сухогрузные суда.

В результате рассмотрения реально возможных случаев загрузки судна на тихой воде для любого сечения по длине должны быть определены:

- наибольшие абсолютные значения изгибающего момента M_{SW} при прогибе и перегибе судна;
- наибольшее абсолютное значение перерезывающей силы N_{SW} .

Волновой изгибающий момент M_W , кНм, действующий в вертикальной плоскости в рассматриваемом сечении:

- вызывающий перегиб судна

$$M_W = 190 \cdot C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot \alpha \cdot 10^{-3} C_b, \quad (1)$$

- вызывающий прогиб судна

$$M_W = -110 \cdot C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot \alpha \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

где $C_W = 0,0856 \cdot L$ при $L < 90$ м,

$$C_W = 10,75 - \left(\frac{300-L}{100} \right)^{3/2} \quad \text{при } 90 \leq L < 300 \text{ м,}$$

$$C_W = 10,75 \quad \text{при } 300 \leq L < 350 \text{ м,}$$

α – коэффициент, определенный по табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1

Значение коэффициента α

Положение сечения по длине судна	α
$x/L < 0,4$	$2,5 \cdot x/L$
$0,4 \leq x/L < 0,65$	1
$x/L \geq 0,65$	$(1 - x/L) \cdot 0,35$

Волновая перерезывающая сила, N_W , кН, в рассматриваемом сечении:

- положительная

$$N_W = 30 \cdot C_W \cdot B \cdot L \cdot (C_b + 0,7) \cdot f_1 \cdot 10^{-2}, \quad (3)$$

- отрицательная

$$N_W = -30 \cdot C_W \cdot B \cdot L \cdot (C_b + 0,7) \cdot f_2 \cdot 10^{-2}, \quad (4)$$

где f_1 и f_2 - коэффициенты, определяемые по таблице 4.2 [1];

Закон распределения M_W по длине судна от значения M_W на миделе запишем в виде

$$M = 0,5 \cdot M_{SW} \cdot \left(1 - \cos(2 \cdot \pi \cdot x/L)\right). \quad (5)$$

Момент сопротивления рассматриваемого сечения корпуса (для палубы и днища) W , см³, должен быть не менее

$$W = \frac{M_T}{\sigma} \cdot 10^3, \quad (6)$$

где $M_T = |M_{SW} + M_W|$ - расчетный изгибающий момент, кНм, в рассматриваемом сечении равный максимуму абсолютной величины алгебраической суммы моментов.

Допускаемые нормальные напряжения, МПа,

$$\sigma = \frac{175}{\eta}, \quad (7)$$

где η - коэффициент использования механических свойств стали.

Т а б л и ц а 4.2

Значение коэффициента η

R_{eH}	235	315	355	390
η	1.0	0.78	0.72	0.68

где R_{eH} - верхний предел текучести, МПа.

Момент сопротивления корпуса для наибольшего расчетного изгибающего момента должен сохраняться постоянным в средней части судна (в пределах $0,4 \cdot L$). Момент сопротивления должен плавно уменьшаться к

оконечностям судна за пределами части судна, в которой он сохраняется постоянным.

Во всех случаях момент сопротивления поперечного сечения корпуса в средней части судна (для палубы и днища), см^3 , должен быть не менее

$$W_{\min} = C_W \cdot B \cdot L^2 \cdot (C_b + 0,7) \cdot \eta. \quad (8)$$

Размеры всех непрерывных продольных элементов корпуса, обеспечивающих $W_{\min}$, должны сохраняться неизменными в пределах средней части судна. Фактический момент сопротивления корпуса судна (см. расчет эквивалентного бруса) должен быть не менее значений, определяемых по формулам (6), (8). В случае несоблюдения указанного условия студенту необходимо указать мероприятия по обеспечению необходимой прочности. Это требование относится и к обеспечению жесткости корпуса (9).

1.3. Момент инерции поперечного сечения корпуса

Жесткость корпуса характеризуется моментом инерции поперечного сечения. По Правилам фактическая величина момента инерции в см^4 поперечного сечения корпуса относительно горизонтальной нейтральной оси в средней части должна быть не менее:

$$I_{\min} = 3 \cdot C_W \cdot B \cdot L^3 \cdot (C_b + 0,7), \quad (9)$$

$$I_{\text{н.о.}} > I_{\min}.$$

1.4. Толщина бортовой обшивки и обшивки непрерывных продольных переборок

Толщина бортовой обшивки s , мм, в рассматриваемом сечении по длине судна и высоте борта при отсутствии продольных переборок (см. расчет эквивалентного бруса) должна быть не менее

$$s = \frac{0,5 \cdot (N_{SW} + N_W)}{\tau} \cdot \frac{s}{l} \cdot 10^2, \quad (10)$$

где N_{SW} и N_W – перерезывающая сила на тихой воде и волнении, расчетное значение, кН.

Допускаемые касательные напряжения, МПа

$$\tau = 110/\eta. \quad (11)$$

Толщина бортовой обшивки s_s и толщина обшивки продольной переборки s_e , мм в рассматриваемом сечении корпуса при наличии двух плоских продольных переборок должны быть не менее:

$$s_s = \frac{N_{SW} + N_W}{\tau} \cdot \frac{s}{l} \cdot \alpha_s \cdot 10^2, \quad (12)$$

$$s_e = \frac{N_{SW} + N_W}{\tau} \cdot \frac{S}{I} \cdot \alpha_e \cdot 10^2, \quad (13)$$

где $\alpha_s = 0,16 + 0,08 \cdot s_s / s_e$,

$$\alpha_e = 0,34 - 0,08 \cdot s_s / s_e.$$

2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать расчет изгибающих моментов и перерезывающих сил, определение расчетного момента сопротивления и момента инерции поперечного сечения корпуса, толщины бортовой обшивки по Правилам Регистра [1].

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Каковы основные варианты нагрузки судов?
- 2) Какие характеристики сравниваются при проверке продольной прочности судов по Правилам Регистра?

Практическое задание 5. ПРОВЕРКА ПРОДОЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА ПО НОРМАМ ПРОЧНОСТИ

Цель работы. Проверить продольную прочность корпуса по критерию эксплуатационной (усталостной) прочности и по предельному состоянию (критерию предельной пластической прочности) в соответствии с Нормами прочности [2].

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Проверка общей продольной прочности корпуса по критерию эксплуатационной (усталостной) прочности

Проверка производится в соответствии с зависимостью (по [2])

$$\frac{K_B \cdot M_{B1} + K_{TB1} \cdot M_{TB}}{W - \Delta W} \cdot 10^3 \leq \sigma_D, \quad (1)$$

где K_B – коэффициент, учитывающий влияние высокочастотных напряжений (волновой вибрации).

$$K_B = 0,95 \cdot \left[1 + 0,4 \cdot C \cdot \left(\frac{L \cdot F_r^B}{\Psi \cdot D} \right)^2 \cdot \left(\frac{L}{200} \right)^{1,5} \right] \geq 1, \quad (2)$$

$$C = \alpha_H^2 \cdot (0,5 + 2 \cdot \sin \beta) \geq \alpha_H^2, \quad (3)$$

α_H – коэффициент полноты носовой части ватерлинии;

β – угол между касательной к шпангоуту и вертикалью на уровне ватерлинии в сечении, расположенном на $0,1 \cdot L$ от носового перпендикуляра.

$$\Psi = \frac{W_{\otimes}}{W_0}, \quad (4)$$

$W_{\otimes}$ – момент сопротивления сечения на миделе, см³;

W_0 – базисный момент сопротивления, см. формулу (8) практическое задание 4;

$$F_r^B = \frac{V_c}{\sqrt{g \cdot L}},$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

V_c – скорость судна, м/с;

M_{B1} – волновой момент, кН·м.

$$M_{B1} = \frac{1}{2} \cdot h_1 \cdot k_1(\alpha) \cdot \kappa_0 \cdot \kappa_1 \cdot B \cdot L^2 \cdot \varphi_T^B(x), \quad (5)$$

где h_1 – расчетная высота волны, определяемая по графику (рис. 5.1).

$$k_1(\alpha) = 0,6 \cdot \alpha - 0,17, \quad (6)$$

$$\kappa_0 = \left(1,3 - 2 \cdot \frac{B}{L} \right) \cdot \left(0,65 - 2,1 \frac{d_{\otimes}}{L} \right), \quad (7)$$

$$\kappa_1 = 1,2 + 0,3 \cdot \alpha - (3 + 20 \cdot F_r^B) \cdot \frac{M_{TB}}{10 \cdot \Delta \cdot L} + (4,2 - 4 \cdot \alpha) \cdot F_r^B. \quad (8)$$

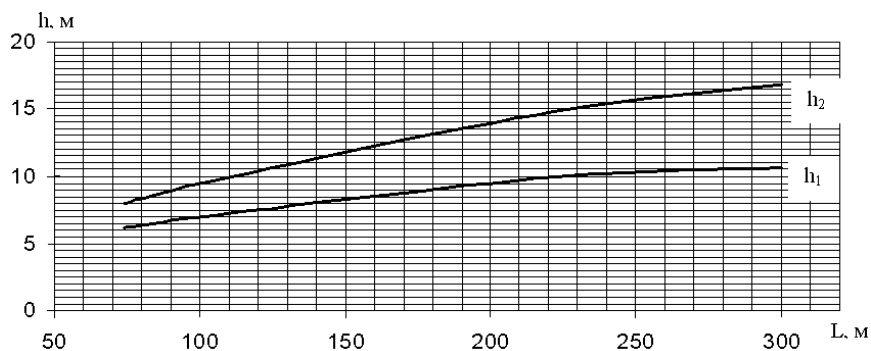


Рис. 5.1. Значения расчетной высоты волны

Значения κ_0 и κ_1 приведены на рис. 5.2.

$\alpha = \frac{1+C_B}{3}$ – коэффициент полноты летней ВЛ;

C_B – коэффициент общей полноты;

$\varphi_T^B(x)$ – коэффициент, учитывающий изменение волнового момента по длине.

В диапазоне $(0,4 \div 0,6) \cdot x/L$ коэффициент $\varphi_T^B(x) = 1$.

$K_{TB1} = 0,35 \cdot \left(\frac{M_{TB}}{M_{TB}^*} + 1 \right) \geq 0,7$ – для растянутых на тихой воде элементов;

$K_{TB1} = 0,25 \cdot \left(\frac{M_{TB}}{M_{TB}^*} + 1 \right) \geq 0,5$ – для сжатых на тихой воде элементов;

$$M_{TB}^* = 0,076 \cdot \kappa_c \cdot W_0; \quad \kappa_c = 1,05 - \frac{2425}{L^2 + 8530}, \quad (9)$$

ΔW – уменьшение момента сопротивления W в результате износа продольных связей к середине срока службы (см^3).

$$\Delta W = K_k \cdot W_0 \cdot \varphi_T^B(x), \quad (10)$$

$$K_k = K_L \cdot K_A \cdot K_B \cdot K_n \cdot K_T \cdot K_{\Pi}, \quad (11)$$

$$K_L = \frac{2425}{L^2 + 8530}, \quad (12)$$

$$K_A = 2,4 - 0,1 \cdot \frac{L}{D}, \quad (13)$$

$K_B = 0,8 \cdot \frac{b}{B} + 0,2$ для $W_{\text{пал.}}$, палуба,

$K_B = 1$ для $W_{\text{дн.}}$, днище,

b – ширина палубного настила в районе люковых вырезов;

$K_n = 1$ – для нефтерудовозов;

$K_n = 0,6$ – для сухогрузов и им подобных судов.

$$K_T = \frac{T_p}{24};$$

T_p – расчетный срок эксплуатации судов (обычно $T_p = 24$);

$K_{\Pi} = 1$ – судно с одной палубой;

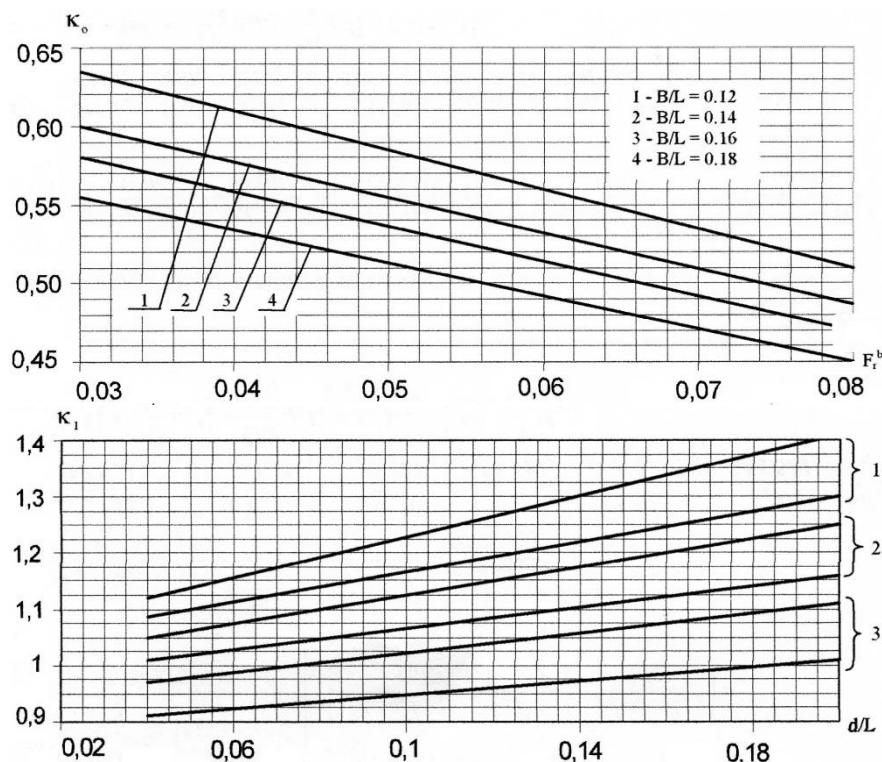


Рис. 5.2. Значения κ_0, κ_1

$K_{\Pi} = 1,1$ – судно с двумя палубами;

$K_{\Pi} = 1,15$ – судно с тремя и более палубами.

Допускаемое напряжение

$$\sigma_d = 0,4 \cdot K_d \cdot \left[1 + 0,06 \cdot \left(\frac{L}{100} \right)^{1,5} \right] \cdot A \cdot K_3 \cdot \sigma_m, \quad (14)$$

где $K_d = 1$ – для верхних связей корпуса;

$K_d = 0,95$ – для днища при одинарной конструкции;

$K_d = 0,90$ – для днища при наличии двойного дна;

$$A = 1 + \left[1 - \left(\frac{K_{TB1} \cdot \Delta M_{TB}}{2 \cdot M_{\Sigma}} \right)^{1,5} \right] \cdot \frac{K_{TB1} \cdot M_{TB}}{M_{\Sigma}}; \quad (15)$$

$M_{\Sigma} = K_B \cdot M_{B1} + K_{TB} \cdot M_{TB}$;

ΔM_{TB} – максимально возможное по абсолютной величине изменение M_{TB} в процессе эксплуатации судна;

K_3 – коэффициент, учитывающий непропорциональность эксплуатационной прочности конструкции пределу текучести материала

$$K_3 = \frac{1}{1 + 0,5 \cdot \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_m^{\min}} - 1 \right)^{1,5}};$$

$$\sigma_T^{\min} = 235, \text{ МПа.}$$

В заключении раздела выписать и проанализировать выполнение условия (1).

1.2. Проверка общей прочности по предельному состоянию

Проверка должна показать, что как при прогибе, так и перегибе судна на волне, в грузу и в балласте отношение предельного изгибающего момента к наибольшему расчетному суммарному удовлетворяет условию

$$K_{\Phi} = \frac{M_{\text{ПР}}}{M_{\text{B2}} + M_Y + M_{\text{TB}}} \geq K_{\text{min}} \cdot K_K, \quad (16)$$

где $K_{\text{min}} \geq 1.15$ – при прогибе судна;

$K_{\text{min}} \geq 1.25$ – при перегибе судна.

$$K_K = 0.9 + 0.1 \cdot \frac{M_{\text{TB}}}{M_{\text{TB}}^*}, \quad (17)$$

M_{TB}^* см. (9)

M_{B2} по формуле (5) при $h = h_2$ м,

$$M_Y = 0.1 \cdot M_{\text{B2}}$$

$$M_{\text{ПР}} = \sigma_T^H \cdot W_T^0, \quad (18)$$

где σ_T^H – нормативный предел текучести, МПа;

$$\sigma_T^H = K_H \cdot \sigma_T,$$

$$K_H = \frac{1}{1 + 0.16 \cdot \left(\frac{\sigma_T}{\sigma_{T\text{min}}} - 1 \right)^{\frac{3}{2}}}. \quad (19)$$

По результатам расчета проанализировать условие (16).

2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать расчет общей продольной прочности корпуса по критерию эксплуатационной прочности и по предельному состоянию.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1) Какая зависимость определяет эксплуатационную прочность корпуса?

2) Дать определение предельного изгибающего момента.

3) Из каких составляющих складывается наибольший расчетный изгибающий момент?

Практическое задание 6.

ПРОВЕРКА МЕСТНОЙ ПРОЧНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ КОРПУСА

Цель работы. Определить действующие на корпус нагрузки при общем изгибе судна. Вычислить напряжения в пластинах и наборе днищевых перекрытия.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Общие положения

В настоящем разделе даны рекомендации по выполнению проверки местной прочности основных конструкций днищевой части корпуса: наружной обшивки, продольных балок и перекрытий. Днищевые перекрытия рассматриваются как система взаимно перпендикулярных пересекающихся балок в пределах между поперечными переборками и бортами или между продольными и поперечными переборками (для наливных судов).

При определении элементов сечения продольных балок набора и балок перекрытий ширина присоединенного пояса обшивки принимается как меньшая из величин: полусумма расстояний до ближайших балок того же направления и одна шестая пролета балки.

Пролеты балок следует назначать:

- вертикального киля и днищевых стрингеров как расстояние между поперечными переборками при жестком защемлении концов;
- флоров как расстояние между продольными переборками или бортами и при жестком защемлении или свободном опирании концов;
- продольных балок при продольной системе набора жестко закрепленных на флорах.

В целом требования к расчетным схемам конструкций не должны отличаться от требований Правил Регистра [1].

Следует иметь в виду, что расчеты местной прочности выполняются для состояния конструкции с учетом износа и коррозии. При проверке прочности нового корпуса по Нормам строительные толщины должны быть уменьшены на величину δS . Запас на износ δS , принимается для конструкций, планируемый срок службы которых превышает 12 лет, и определяется по формуле (1) практического задания 3.

$$\delta S = U \cdot (T - 12),$$

где U – среднегодовое уменьшение толщины связи, мм/год, вследствие коррозии или износа [см. таблицу 3.4];

T – планируемый срок службы конструкции, годы; если срок не установлен, то принимается $T = 24$ года.

Для конструкций, у которых срок меньше 12 лет, $\delta S = 0$.

В соответствии с [1] проверка местной прочности основных судовых конструкций в средней части судна производится в упругой области на

эксплуатационную нагрузку с обеспеченностью $Q=10^5$. Коэффициенты допускаемых напряжений определяются по формулам

$$K_{\sigma} = \frac{[\sigma]}{\sigma_T^H}, K_{\tau} = \frac{[\tau]}{\tau_T^H}, \quad (1)$$

где $[\sigma]$, $[\tau]$ – допускаемые напряжения для расчета нормальных и касательных напряжений.

При расчете балочных конструкций в упругой стадии, когда действуют одновременно нормальные σ и касательные τ напряжения, эффект их суммирования можно оценить по приведенным напряжениям

$$\sigma_{\text{пр}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}. \quad (2)$$

Коэффициент допускаемых приведенных напряжений

$$K_{\text{пр}} = \frac{\sigma_{\text{пр}}}{\sigma_T^H}.$$

В соответствии с Нормами [2]

$$\sigma_T^H = K_H \sigma_T, \quad (3)$$

где $K_H = \frac{1}{1+0,16 \cdot (\frac{\sigma_T}{235}-1)^{1,5}}.$

Для сталей повышенного сопротивления

$$\sigma_T^H = 1 \cdot \sigma_T - \text{при } \sigma_T=235 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T^H = 0,97 \cdot \sigma_T - \text{при } \sigma_T=320 \text{ МПа};$$

$$\sigma_T^H = 0,91 \cdot \sigma_T - \text{при } \sigma_T=400 \text{ МПа};$$

$\tau_T^H = 0,57 \cdot \tau_T$ – нормативный предел текучести по касательным напряжениям, МПа.

1.2. Внешние нагрузки на корпус судна со стороны моря по Правилам Регистра

Распределение давления p , кПа, действующие на корпус судна со стороны моря, определяется по формулам:

- для точек приложения нагрузок ниже летней грузовой ватерлинии

$$p = p_{st} + p_w, \quad (4)$$

- для точек приложения нагрузок выше уровня летней грузовой ватерлинии

$$p = p_w, \quad (5)$$

где $p_{st} = 10 \cdot z_i$ – статическое давление, кПа;

z_i – отстояние точки приложения нагрузки от летней грузовой ватерлинии.

Расчетное давление, обусловленное перемещениями корпуса относительно профиля волны p_w , кПа, определяется по формуле

$$p_w = p_{w0} - 1,5 \cdot C_w \cdot \frac{z_i}{d}, \quad (6)$$

для точек приложения нагрузок, расположенных выше летней грузовой ватерлинии:

$$p_w = p_{w0} - 7.5 \cdot C_w \cdot z_i, \quad (7)$$

где $p_{w0} = 5 \cdot C_w \cdot a_v \cdot a_x$,
 $a_v \cdot a_x \geq 0.6$.

Распределение нагрузки p_w по контуру поперечного сечения показано на рис. 1.

1.3 Внутренние нагрузки, вызванные воздействием груза

Суммарное ускорение в вертикальном направлении a_z , м/с², от всех видов качки можно определить по формуле

$$a_z = g \cdot \frac{0.9}{\sqrt[3]{L}} \cdot (1 + K_a), \quad (8)$$

где $K_a = 1.6 \cdot \left(1 - 2.5 \cdot x_i/L\right) \geq 0.6$ в носовой части судна;

$K_a = 1.6 \cdot \left(1 - 3.3 \cdot x_i/L\right) \geq 0.6$ в кормовой части судна;

x_i — отстояние рассматриваемого поперечного сечения до ближайшего носового или кормового перпендикуляра, м.

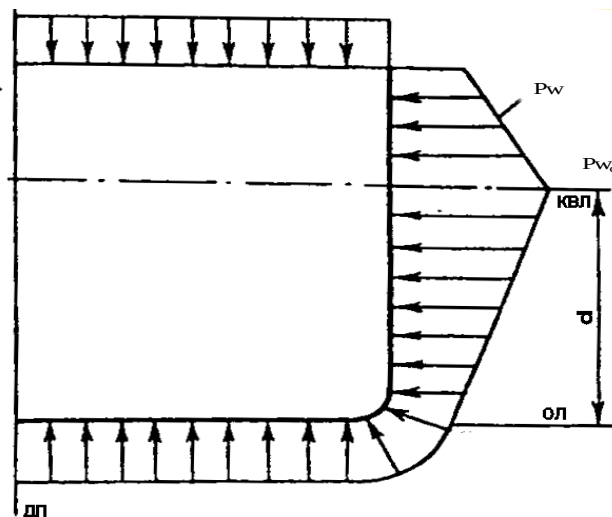


Рис. 6.1. Распределение нагрузки по контуру сечения корпуса

При $L < 80$ метров в формуле принять $L = 80$ м.

Расчетное давление p_r , кПа, на перекрытие грузовых палуб, платформ, двойного дна от штучного груза с учетом сил инерции определяется по формуле

$$p_{\Gamma} = h \cdot \rho_{\Gamma} \cdot g \cdot \left(1 + a_z/g\right) \geq 20, \text{ кПа}, \quad (9)$$

где h – расчетная высота укладки груза, м,

ρ_{Γ} – плотность груза, т/м³,

a_z – расчетное ускорение в вертикальной плоскости согласно (8).

Расчетное давление p_{Γ} , кПа, на конструкции, ограничивающие отсек, предназначенные для перевозки штучных грузов и балласта в грузовых танках и балластных цистернах при их полном затоплении, определяется по формуле

$$p_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} \cdot g \cdot \left(1 + a_z/g\right) \cdot z_i, \quad (10)$$

где ρ_{Γ} – плотность груза, т/м³

z_i – отстояние рассматриваемой связи от уровня палубы в диаметральной плоскости, м.

Расчетное давление p_{Γ} , кПа, на конструкции, ограничивающие трюм для навалочных грузов, определяется по формуле

$$p_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} \cdot g \cdot K_{\Gamma} \cdot \left(1 + a_z/g\right) \cdot z_i, \quad (11)$$

где ρ_{Γ} – плотность груза, т/м³;

$K_{\Gamma} = \sin^2 \alpha \cdot tg^2 \left(45^\circ - \phi_{в.т}/2\right) + \cos^2 \alpha$ или $K_{\Gamma} = \cos \alpha$ в зависимости

от того что больше;

α – угол наклона стенки к основной плоскости, град.;

$\phi_{в.т}$ – угол внутреннего трения навалочного груза, град.;

z_i – отстояние по вертикали точки приложения нагрузки от уровня свободной поверхности груза, м;

$K_{\Gamma} = 1$ для двойного дна.

1.4. Проверка прочности наружной обшивки

В соответствии с [1] расчет пластин производится в предположении их жесткой заделки на опорном контуре. За расчетные принимаются нормальные напряжения от изгиба по середине длинной стороны опорного контура. Расчетная нагрузка принимается равномерно распределенной по полю пластины.

Пластины сухогрузных и наливных судов с двойными бортами и двойным дном рассчитываются на суммарное давление снаружи при наибольшей осадке судна и расчетной высоте волны:

$$P_{пл} = P_{st}^{max} + P_w \quad (12)$$

При этом для обшивки днища $z_i = d$, а для борта $z_i = z_c$,
 где z_c – отстояние нижней кромки листа от основной плоскости;
 d – осадка судна, м.

Для судовых пластин характерно соотношение сторон опорного контура как при продольной, так и при поперечной системе набора $a/b > 2$.

Для таких пластин напряжение посередине длинной стороны опорного контура, МПа:

$$\sigma_{пл_1} = \pm 5 \cdot P_{пл} \cdot \left(\frac{b}{100 \cdot t} \right)^2, \quad (13)$$

напряжения посередине пролета пластины

$$\sigma_{пл_2} = \pm 2,5 \cdot P_{пл} \cdot \left(\frac{b}{100 \cdot t} \right)^2, \quad (14)$$

где b и t – короткая сторона опорного контура и толщина пластины, соответственно, м.

1.5. Проверка местной прочности основного набора днища

Продольная балка по симметрии пролетов считается жестко заделанной на опорах и загружена равномерной нагрузкой

$$P_6 = P_{CT} + P_{B0}. \quad (15)$$

За расчетные принимаются нормальные напряжения в опорных сечениях продольных балок

$$\sigma_6 = \frac{P_6 \cdot b \cdot a^2 \cdot 10^3}{12 \cdot W_6^{\min}} \leq K_\sigma \cdot \sigma_T^H, \quad (16)$$

где b , a – расстояние между балками, длина балки, м;

$W_6^{\min}$ – минимальный момент сопротивления балки с пояском.

$K_\sigma = K_\tau = 0,75$ – для продольных балок второго дна,

$K_\sigma = K_\tau = 0,35 \cdot K_w^B \leq 0,6$ – для продольных балок,

$$\sigma_T^H = K_H \cdot \sigma_T$$

$$K_H = \frac{1}{1 + 0,16 \cdot \left(\frac{\sigma_T}{235} - 1 \right)^{1,5}}$$

Для стали с $\sigma_T = 235$, МПа, $K_H = 1$.

1.6. Проверка прочности днищевых перекрытий в средней части судна

1.6.1. Общие положения

При расчете в упругой стадии рекомендуется представлять перекрытие в виде стержневой системы пересекающихся балок, работающей на изгиб, сдвиг, с учетом влияния прилегающих конструкций, их жесткости и загрузки.

При расчете днищевых перекрытий можно использовать следующие допущения:

- перекрытие плоское, без учета погиби;
- опорный контур абсолютно жесткий (для супертанкеров и других крупных судов необходимо учитывать податливость опорного контура);
- расчетная нагрузка на днищевое перекрытие принимается равномерно-распределенной по площади в пределах отсека и вычисляется для положения судна на вершине и подошве волны с учетом противодействия груза.

В качестве расчетной нагрузки принимается большее из двух значений:

- для положения на вершине волны

$$P_g = \rho \cdot g \cdot d + P_w, \quad (17)$$

- для положения на подошве волны

$$P_g = P_G^{\max} + P_w - \rho \cdot h \cdot d, \quad (18)$$

где P_w – волновая нагрузка (6)

при $h_i = h$ и $z_i = 0$,

$P_G^{\max}$ – наибольшее из возможных противодействий груза со стороны отсека, кПа.

Величина всех составляющих нагрузки определяется в точке, посередине длины и ширины перекрытия.

Для сухогрузных и наливных судов характерны перекрытия типа «двойное дно». Перекрытия первого типа имеют обычно большое количество одинаковых поперечных (главного направления – флоры) и несколько продольных перекрестных связей (киль, стрингеры) одинаковой высоты. Перекрытия танкерного типа имеют ограниченное число флоров (4-6) и одну перекрестную связь (киль) с большими концевыми кницами, нарушающими их призматичность.

В настоящее время существует несколько методов расчета прочности перекрытий в зависимости от их конструкции.

1.6.2. Расчет перекрытия

Из всех типов днищевых перекрытий выделим следующие (рис. 6.2).

1) Симметричные, с одной перекрестной связью (вертикальный киль) и несколькими балками главного направления (сплошные флоры), расчет перекрытия можно свести к расчету неразрезной балки, опертой на упругие опоры, коэффициент податливости которых определяется как прогиб балки главного направления, загруженной в точке пересечения с перекрестной связью единичной нагрузкой.

2) Симметричные с тремя перекрестными связями (вертикальный киль и по одному стрингеру с каждого борта) и несколькими балками главного направления (сплошными флорами).

3) Симметричные с пятью перекрестными связями и большим количеством балок главного направления.

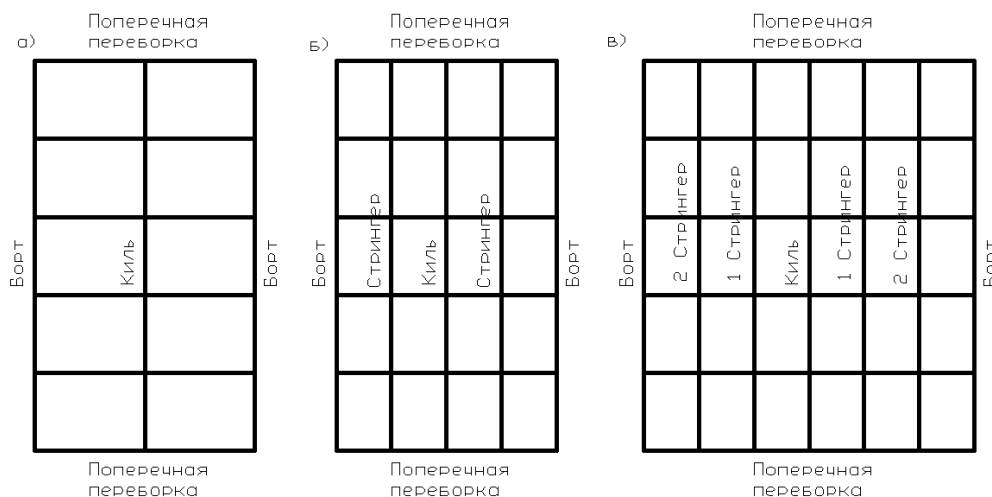


Рис. 6.2. Основные типы днищевых перекрытий

Условия заделки перекрестных связей (киля и стрингеров) на поперечных переборках зависит соотношение жесткостей, длин пролетов и нагрузок в смежных перекрытиях. Для практических целей можно принять перекрестные связи жестко защемленными на переборках.

Условия заделки балок главного направления (флоров) на бортах зависят от соотношения жесткости флора и шпангоута и величины нагрузки. Обычно шпангоуты мало влияют на степень заделки флоров и поэтому при расчете днищевых перекрытий сухогрузных судов балки главного направления (флоры) часто считают свободно опертыми.

На танкерах при продольной системе набора днища и борта рамные шпангоуты имеют соизмеримую с жесткостью флоров. Поэтому флоры на танкерах можно считать жестко защемленными на рамных шпангоутах или рамных стойках продольных переборок при наличии бортовых цистерн.

Элементы поперечного сечения (площади, моменты инерции, моменты сопротивления) балок перекрытия определяют, как для составных балок, в табличной форме (табл. 6.1)

Т а б л и ц а 6.1

Расчет элементов поперечного сечения балок

Наименование и размеры связей, мм	Площадь поперечного сечения, F , см^2	Отстояние от оси сравнения, z , м	Статический момент, $F \cdot z$, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$	Моменты инерции, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$	
				Переносный, $F \cdot z^2$	Собственный, i
	...				
Σ	F		S	I_{Π}	

Отстояние нейтральной оси от оси сравнения

$$e = \frac{S}{F}.$$

Момент инерции относительно нейтральной оси

$$I_{н.о.} = I_{\Pi} - \frac{S^2}{F}. \quad (19)$$

Момент сопротивления сечения

$$W_1 = \frac{I}{e}, \quad W_2 = \frac{I}{h - e}.$$

где h – высота балки (двойного дна), м.

Ширина присоединенных поясков днища и настила второго дна C_1 , включаемых в состав сечения соответствующих балок с учетом величин пролетов этих связей.

Для киля и стрингера

$$C_1 = \frac{1}{6} \cdot L_{\Pi} \div \frac{1}{8} \cdot L_{\Pi} \text{ или } C_1 = C \text{ в зависимости от того, что меньше,}$$

где C_1 – ширина присоединенного пояска обшивки днища и настила второго дна, м;

C – фактическое расстояние между перекрестными связями, м;

L_{Π} – пролет перекрестной связи, м.

При продольной системе набора площади сечения продольных ребер жесткости в пределах присоединенного пояска включается в состав сечения киля и стрингеров. Для сплошных флоров при установке на каждом шпангоуте в сечении флора засчитываются пояски обшивки днища и настила второго дна шириной равной шпации.

1.6.3. Нормирование прочности связей днищевого перекрытия

Прочность связей днищевого перекрытия на действие расчетной нагрузки оценивается:

- поясков балок – по наибольшим касательным напряжениям;
- стенок балок – по средним касательным напряжениям с учетом вырезов;

– опорных сечений кия при продольной системе набора дополнительно – по приведенным напряжениям

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_0^2 + 3 \cdot \tau^2}, \quad (20)$$

где σ_0 – расчетные нормальные напряжения от общего изгиба в точке посередине высоты стенки вертикального кия;

τ – касательные напряжения в стенке вертикального кия.

$$\sigma_0 = 0,80 \cdot \frac{\sigma_T^H}{K_\phi} \cdot \frac{|Z_0|}{R}, \quad (21)$$

где K_ϕ – фактический (расчетный) коэффициент запаса прочности (см. формулу (16), практическое задание 5);

R – отстояние крайней по высоте связи, для которой определяется (3.48) и от нейтральной оси корпуса, м;

z_0 – отстояние от нейтральной оси середины высоты вертикального кия, м.

Коэффициенты допускаемых напряжений приведены в табл. 6.2.

Т а б л и ц а 6.2

Коэффициенты допускаемых напряжений

Наименование связи	Пояски	K_{σ}	K_{τ}	$K_{\sigma PR}$
		В середине пролета	Опорные сечения	для стенки
Вертикальный киль и днищевые стрингеры	Настил второ- го дна	$0,40 \cdot K_w$ ≤ 0.60	$0,60 \cdot K_w$ ≤ 0.90	1.0*
	Днище	$0,15 \cdot K_w$ $\leq 0.60^{***}$		
Сплошные флоры	Настил второ- го дна	0.80** / 0.70		---

*– при поперечной системе не нормируется;

**– числитель относится к продольной системе набора в случае растяжения поясков от изгиба флоров и к поперечной системе во всех случаях, знаменатель – к продольной системе в случае сжатия поясков от изгиба флоров.

***– случай сжатия днища при общем и местном изгибе, растяжение – настил второго дна.

1.6.4. Суммирование напряжений в продольных связях перекрытия

Продольные балки днищевого перекрытия (киль, стрингеры) относятся к связям второй категории, в которых суммируются напряжения от об-

щего изгиба корпуса на волнении в составе пояска эквивалентного бруса и напряжения местного изгиба этих связей между поперечными переборками.

Поэтому после определения напряжений от общего изгиба при статической постановке на волну и от изгиба днищевого перекрытия производится суммирование напряжений в связях днища для двух сечений – посередине пролета перекрытия и в опорном сечении (у переборки) в табл. 6.3.

Т а б л и ц а 6.3

Суммирование напряжений в связях второй категории

Наименование связи	Сечение	На вершине волны			На подошве волны				
		σ_1	σ_2	$\sigma_{1,2} = (3) + (4)$	σ_1	σ_2	$\sigma_{1,2} = (6) + (7)$	$\frac{\sigma_g}{\sigma_T}$	$\frac{\sigma_{\max}^*}{\sigma_D}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Обшивка дна									
Настил внутреннего дна									

$\sigma_{\max}^*$ – наибольшее по абсолютной величине суммарное напряжение

Суммирование производится, как правило, для связей, примыкающих к вертикальному килю. Если при расчете перекрытия окажется, что напряжение от изгиба в стрингере больше, чем в киле, то суммирование производится для первого от киля стрингера.

Суммирование напряжений в днищевых связях танкеров производится в середине пролета килля. В опорном сечении килля у переборки суммирование не производится ввиду наличия больших книц в этом районе (первая строка в табл. 6.3).

2. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать определение давления на конструкции корпуса, расчеты прочности пластин, основного и рамного набора днищевого перекрытия корпуса судна, суммирование напряжений в продольных рамных балках перекрытия от общего изгиба корпуса и местной нагрузки.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Дать определение общей и местной прочности корпуса.
- 2) Порядок определения внешних нагрузок на корпус судна.
- 3) Как определяется давление на палубы, второе дно от нагрузки под действием груза?
- 4) Назовите типы днищевых перекрытий.
- 5) Какие элементы включаются в расчетные сечения балок днищевого перекрытия?
- 6) Опишите приближенный метод расчета изгибающих моментов в рамных связях днищевого перекрытия, приведенный в справочнике [7, ч. 3].
- 7) Каким способом суммируются напряжения в связях I и II категории при общем изгибе корпуса?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила классификации и постройки морских судов. – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2019.
2. Бойцов Г.В. Нормы прочности морских судов / Г.В. Бойцов, О.М.Палий. – СПб.: ЦНИИ им. А.Н. Крылова. – 1988, Выпуск 32381. – 235 с.
3. Короткин Я.И. Прочность корабля / Я.И. Короткин, Д.М. Ростовцев, И.Н.Сиверс. – Л.: Судостроение, 1974. – 345 с.
4. Давыдов В.В. Прочность судов внутреннего плавания / В.В. Давыдов, Н.В.Маттес, И.Н.Сиверс. – М.–Л.: Транспорт, 1978. – 213 с.
5. Постнов В.А. Строительная механика корабля и теория упругости / В.А. Постнов, О.М. Палий, И.Н. Сиверс: В 3-х ч. Ч.1. – Л.: Судостроение, 1987.
6. Постнов В.А. Расчет судовых конструкций по методу конечных элементов / В.А. Постнов, И.Я. Хархурим. – Л.: Судостроение, 1987. – 156 с.
7. Справочник по строительной механике корабля / Под ред. Ю.А. Шиманского: В 3-х ч. Ч.3. – Л.: Судостроение, 1960. – 567 с.
8. Постнов В.А. Вибрация корабля / В.А. Постнов, В.С. Калинин, Д.М. Ростовцев. – Л.: Судостроение, 1983. – 247 с.

РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ КОРПУСА СУДНА

*Методические указания
к выполнению практических заданий*

Составители: **Игнатович** Владилен Сергеевич, **Кузьмина** Анна Валентиновна,
Балашов Михаил Георгиевич, **Родькина** Анна Владимировна

В авторской редакции

Изд. № 280/2020. Объем 3 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»