

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Океанотехника и кораблестроение»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В КОРПУСЕ СУДНА

Методические указания
к выполнению контрольных работ

Севастополь
СевГУ
2022

УДК 629.5.015.4(076)
ББК 39.42-01я73
О-624

Р е ц е н з е н т :

Т.Л. Чемакина – канд. техн. наук, доцент

Составители: А.В. Кузьмина, М.Г. Балашов

О-624 Определение напряжений в корпусе судна : методические указания к выполнению контрольных работ / Севастопольский государственный университет, Морской институт, кафедра «Океанотехника и кораблестроение»; сост. А.В. Кузьмина, М.Г. Балашов. – Севастополь: СевГУ, 2022. – 27 с.: ил. – Текст : электронный.

Целью настоящих методических указаний является оказание методической помощи обучающимся заочной формы обучения специальности 26.05.01 «Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники» при выполнении контрольных работ по дисциплине «Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники».

УДК 629.5.015.4(076)
ББК 39.42-01я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании Ученого совета Морского института в качестве методических указаний к выполнению контрольных работ по дисциплине «Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники» обучающимися специальности 26.05.01 «Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники» заочной формы обучения, протокол № 2 от 18 ноября 2021 г.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Контрольная работа № 1	5
1.1. Теоретический раздел	5
1.2. Порядок выполнения задания	7
1.3. Контрольные вопросы	7
Контрольная работа № 2	8
2.1. Теоретический раздел	8
2.2. Порядок выполнения задания	12
2.3. Пример расчета	15
2.4. Контрольные вопросы	18
Библиографический список	19
Приложение А	20
Приложение Б	23
Приложение В	27

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены по теме дисциплины «Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники», относящейся к общей продольной прочности корпуса судна.

Контрольные работы взаимосвязаны и выполняются последовательно, по тем же исходным данным. Данные выбираются для корпуса конкретного архитектурно-конструктивного типа судна по указанию преподавателя из табл. А.1, А.2, А.3 прил. А. Примерные конструктивные мидель-шпангоуты приведены в прил. Б.

Отчет по контрольным работам должен быть следствием самостоятельного изучения курса Конструкция корпуса судов в соответствии с программой. Пример оформления титульного листа приведен в прил. В.

Для ознакомления с курсом и составления отчета следует обратить особое внимание на физическую сущность изучаемых вопросов. Изучить требования и предпосылки к проектированию основных связей корпуса.

Работа должна быть содержательной, изложение – кратким, но исчерпывающим, с необходимыми графическими и расчетными пояснениями.

Графическая часть контрольных работ выполняется карандашом с соблюдением ЕСКД. Контрольные работы выполняются последовательно.

Отчет по первой работе должен содержать исходные данные. Контрольные работы выполняются на листах формата А4.

Оглавление должно включать заголовки разделов и подразделов и номера соответствующих страниц. Текст основной части пояснительной записки излагается на листах формата А4 (210x297). Каждый раздел нумеруется арабскими цифрами, а подраздел – арабскими цифрами в пределах каждого раздела (1.1, 1.2, и т.д.). Рисунки и таблицы нумеруются последовательно в пределах всего задания арабскими цифрами.

Формулы, на которые имеются ссылки в тексте, должны нумероваться в пределах раздела арабскими цифрами. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделённых точкой (1.2, 6.7). В библиографический список включают все использованные источники в порядке появления ссылок в тексте. Пример оформления титульного листа приведен в прил. В.

Контрольная работа № 1

ЭСКИЗИРОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ МИДЕЛЬ-ШПАНГОУТОВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ СУДОВ

Целью работы является: изучение конструктивных типов морских судов и их особенностей, приобретение практических навыков выполнения эскизов поперечных сечений судов и отдельных конструктивных узлов.

1.1. Теоретический раздел

Оболочка корпуса по всей поверхности подкрепляется набором – это ряд пересекающихся балок. Профили балок могут быть различными: полособульб симметричный, полособульб несимметричный, угольник, тавр, реже двутавр, швеллер. Балки поперечного набора, подкрепляющие палубу – бимсы, борт – шпангоуты, днище – флоры. Вместе эти балки образуют шпангоутную раму. Отдельные балки между собой соединяются кницами. Кница для соединения флора с бортовым шпангоутом называется скуловой кницей, для соединения бимса со шпангоутом – бимсовой кницей. Расстояние между двумя близлежащими связями, например, шпангоутами – шпация (практическая шпация). Она неодинакова по длине судна (в отличие от теоретической шпации). Шпангоуты и бимсы с увеличенными размерами называются рамными. Флоры бывают сплошные, непроницаемые, облегченные, бракетные. При наличии грузового люка в палубе бимсы доходят до продольного комингса люка и тогда называются полубимсами. Балки продольного набора пересекаются с балками поперечного набора под прямым углом. Продольные балки днища – днищевые стрингеры. В ДП – вертикальный киль (рис. 1.1).

Эскизы конструктивных мидель-шпангоутов, учитывая их симметрию относительно диаметральной плоскости, выполняются для полусечений в возможно крупном масштабе, каждый на отдельном листе формата А4.

Эскизы должны содержать все продольные и поперечные связи, находящиеся в рассматриваемом сечении, а также следы диаметральной и основной плоскостей. Размеры связей нужно указывать, их изображение на эскизе должно быть пропорционально исходному. Конструктивные узлы и разрезы выбираются студентами самостоятельно. Выполняются они с возможной полнотой проработки на свободных местах формата.

Для сухогрузного и наливного судна узлы и разрезы выполнять в укрупненном масштабе на отдельных листах формата. Конструктивные разрезы должны содержать по две смежные одноименные балки с соответствующим расстоянием – шпацией между ними.

Обратить особое внимание на конструкцию соединения и взаимного пересечения балок набора, а также продольных днищевых балок с водонепроницаемым флором на сухогрузных судах и с поперечной переборкой на наливных.

Допускается выполнение всей работы от руки, но с безусловным соблюдением пропорций, а также требований ГОСТов и отраслевых нормалей, регламентирующих выполнение чертежей в судостроении.

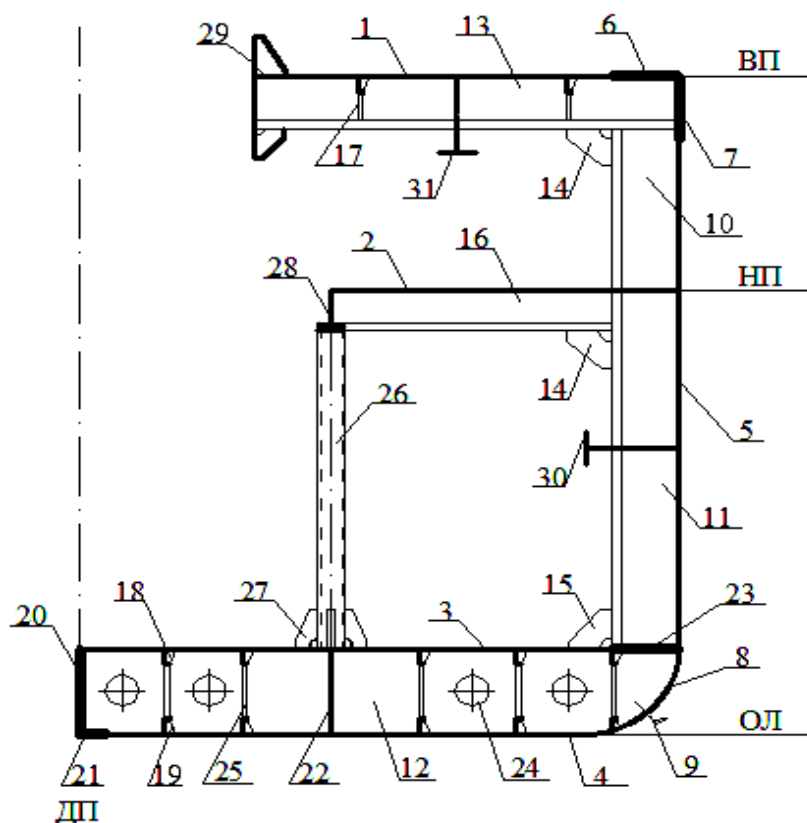


Рис. 1.1. Пример конструктивного мидель-шпангоута сухогрузного судна: 1– настил верхней палубы (ВП); 2 – настил нижней палубы (НП); 3 – настил второго дна; 4 – наружная обшивка днища; 5 – наружная обшивка борта; 6 – палубный стрингер; 7– ширстрек; 8 – скула; 9 – боковой киль; 10 – твиндечный шпангоут; 11 – трюмный шпангоут; 12 – флор; 13 – бимс; 14 – бимсовая кница; 15 – скуловая кница; 16 – бимс НП; 17 – продольные ребра жесткости НП; 18 – продольные ребра жесткости второго дна; 19 – продольные ребра жесткости днища; 20 – вертикальный киль; 21 – горизонтальный киль; 22 – днищевой стрингер; 23 – крайний междудонный лист; 24 – лазы; 25 – подкрепляющие ребра жесткости; 26 – пиллерс; 27 – кницы; 28 – комингс нижней палубы; 29 – комингс ВП; 30 – бортовой стрингер; 31 – карлингс

При изучении конструктивных особенностей судов обратить внимание на следующие вопросы:

– конструктивный тип судна в зависимости от его назначения, рода перевозимого груза (количество и расположение палуб, переборок, наличия внутреннего дна, грузовых люков, положение МКО и надстроек по длине и др.);

– система набора отдельных перекрытий, ее преимущества и недостатки;

– главные и второстепенные функции продольных и поперечных связей (днищевой и бортовой наружной обшивки, настила палуб, комингсов и всех балок набора корпуса);

– характер и район ледовых подкреплений на судах, имеющих ледовую категорию.

При наличии затруднений в правильности графических изображений конструкций корпуса рекомендуется ознакомиться с литературой по судостроительному черчению.

1.2. Порядок выполнения задания

1. Ознакомиться с конструктивными мидель-шпангоутами, предложенными в курсе. Определить входящие в них связи и элементы (обшивка, балки), установив их размеры и тип.

2. Вычертить обводы шпангоутов с нанесением линий палуб, платформ и второго дна (4 эскиза мидель-шпангоутов).

3. Наметить положение и вычертить все продольные связи: днищевые и бортовые стрингеры, карлингсы, комингсы люков и т.п.

4. Вычертить шпангоуты, бимсы, флоры и прочие элементы набора корпуса.

5. Показать пазы листов наружной обшивки, палуб, платформ, второго дна и межсекционные монтажные швы.

6. Выполнить все необходимые надписи чертежным шрифтом.

7. Для каждого из судов вычертить по два конструктивных узла и по одному разрезу.

8. Изучить конструктивные особенности каждого из рассмотренных судов.

1.3. Контрольные вопросы

1. Указать балки главного направления при поперечной системе набора.
2. Указать балки главного направления при продольной системе набора.
3. Конструкция одинарного дна (схема).
4. Конструкция двойного дна (схема).
5. Конструкция бортовых перекрытий при продольной и поперечной системах набора (схема).
6. Узлы соединения палубы и борта, днища и борта.

Контрольная работа № 2

РАСЧЁТ ЭКВИВАЛЕНТНОГО БРУСА КОРПУСА ТРАНСПОРТНОГО СУДНА

Цель работы: закрепить теоретические знания обучающихся путём практического расчета геометрических характеристик эквивалентного бруса при проверке общей прочности судна.

2.1. Теоретический раздел

Материалы, применяющиеся для изготовления корпусных конструкций, регламентируются частью II «Корпус» (раздел 1.2 «Материалы») и должны удовлетворять требованиям XIII «Материалы» Правил Регистра [1].

Для изготовления элементов конструкции корпуса предусматривается применение судостроительных сталей категорий:

– нормальной прочности, категорий А, В, D и E с пределом текучести $R_{ен} = 235$ МПа;

– повышенной прочности, категорий A32, D32, E32 с $R_{ен} = 315$ МПа; A36, D36, E36 с $R_{ен} = 355$ МПа; A40, D40, E40 с $R_{ен} = 390$ МПа.

Элементы конструкций корпуса в зависимости от уровня напряженности, наличия значительной концентрации напряжений, сложности узлов и влияния их на безопасность судна делятся на 3 группы (табл. 1.1).

Для конструкций с высоким уровнем концентрации напряжений, следует применять стали категорий D или E. Сталь категории А не допускается.

Т а б л и ц а 1.1

Группы связей элементов конструкций корпуса

Связи корпуса	Группа связи	
	средняя часть	вне средней части
1. Ширстрек, палубный стрингер расчетной палубы 2. Скуловой пояс 3. Настил расчётной палубы в углах вырезов 4. Непрерывные продольные комингсы 5. Переходные участки окончаний продольных стенок надстроек	III	II
6. Прочие поясья расчётной палубы 7. Продольные балки расчётной палубы, ширстрека,	II	I

Связи корпуса	Группа связи	
	средняя часть	вне средней части
продольных стенок подпалубных цистерн 8. Обшивка днища, горизонтальный киль 9. Верхние пояся продольных переборок 10. Разрезные продольные комингсы расчётной палубы		
11. Наружные продольные связи, обшивка и набор длинных переборок.	II	I
12. Обшивка и набор в районе ледового пояса - судов категории Ice3, Ice2, Ice1; - судов категории Arc7, Arc5 и ледоколов	I II	I II

Выбор стали для элементов конструкций корпуса, в т. ч. подверженных воздействию низких температур, производится по рис. 1.1 – 1.3.

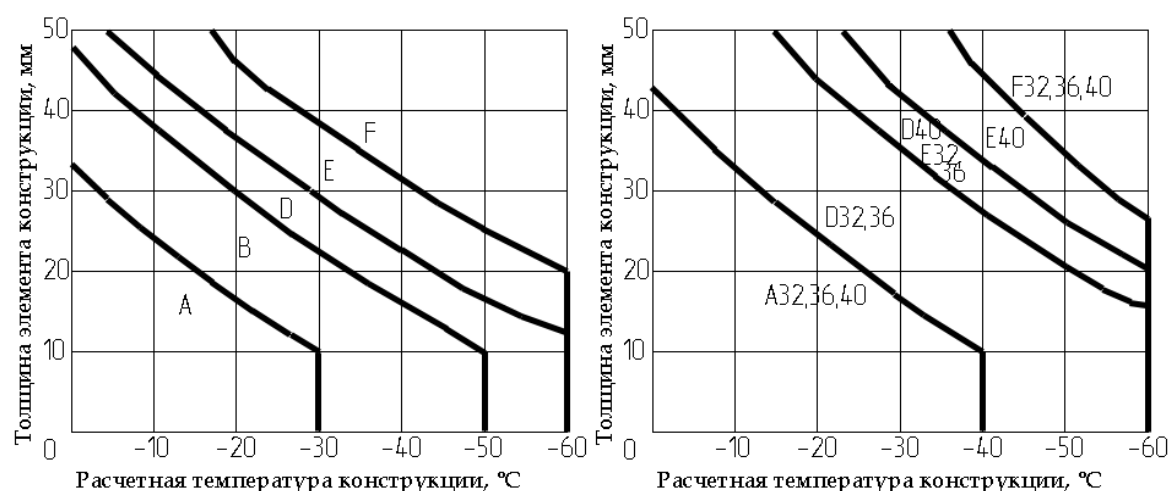


Рис. 1.1. Группа связей I

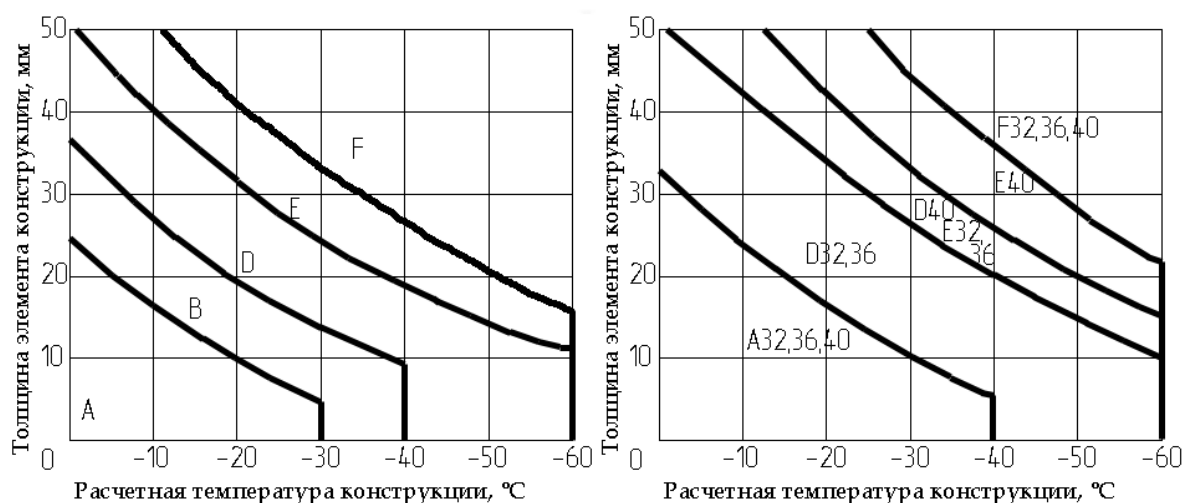


Рис. 1.2. Группа связей II

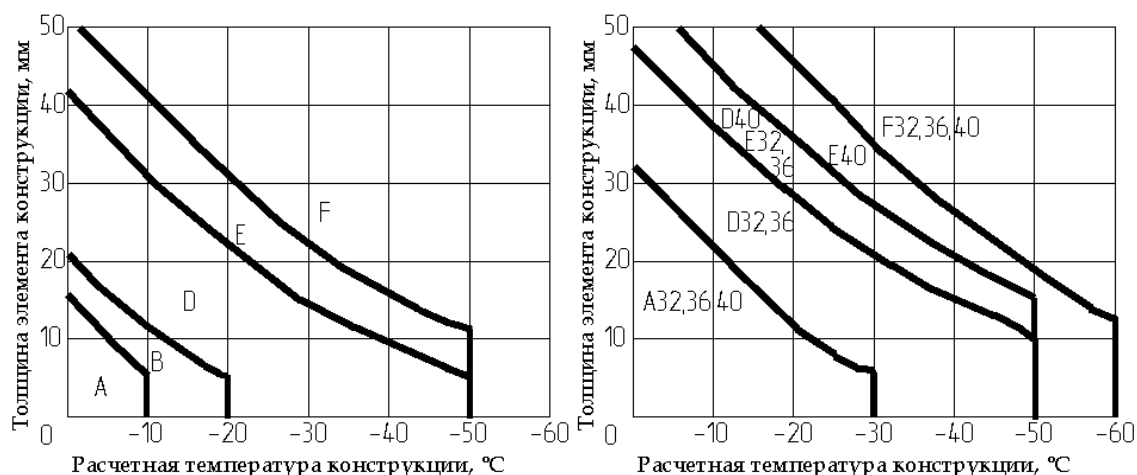


Рис. 1.3. Группа связей III

Предлагается изучить конструктивные мидель-шпангоуты малых, сухогрузных, наливных и навалочных судов, приведённые Электронном курсе и в альбоме конструктивных мидель-шпангоутов [5]. По указанию преподавателя выполнить 4 эскиза на листах формата А4: мидель-шпангоут сухогрузного, малого, нефтеналивного и навалочного судна.

Корпус судна является сложным пространственным сооружением, состоящим из перекрытий палуб, днища, бортов, продольных и поперечных переборок.

Гипотеза плоских сечений – любое сечение, перпендикулярное нейтральной оси балки до деформации изгиба, остаётся перпендикулярным изогнутой оси балки после деформации изгиба, поэтому закон изменения деформации и напряжения по высоте корпуса – линейно, и силы веса и силы поддержания приложены к нейтральной оси – н. о.

При плавании судна на взволнованной поверхности на его корпус действуют силы поддержания, все время меняющие свою величину на отдельных участках длины судна. Максимального значения эти силы достигают тогда, когда судно идет курсом, перпендикулярным направлению волны, длина которой равна длине судна. При прохождении вершины волны у миделя, в средней части корпуса образуются избыточные силы поддержания с недостатком их в оконечностях. От неравномерного распределения сил поддержания в этом случае получается перегиб корпуса. Через короткий промежуток времени судно переходит на подошву волны, при этом избыток сил поддержания перемещается к оконечностям, отчего возникает прогиб корпуса. При перегибе – верхняя палуба растянута, а днище сжато. При прогибе – наоборот.

В поперечных сечениях корпуса в дополнение к перерезывающим силам и изгибающим моментам, возникающим на тихой воде, появляются

перерезывающие силы и изгибающие моменты, вызванные качкой. Действующие на корпус судна силы веса и силы поддержания воды распределены по длине неравномерно, в результате чего в поперечных сечениях возникают изгибающие моменты и перерезывающие силы, вызывающие общий изгиб судна. Продольный изгибающий момент воспринимается всеми продольными связями корпуса, идущими по всей длине корпуса или по значительной его части (палубы, борта, днище, продольные переборки, балки продольного набора). Схема продольных связей, участвующих в обеспечении общей продольной прочности, приведена на рис. 2.1, а.

Для определения напряжений, действующих в связях корпуса, необходимо определить момент инерции, моменты сопротивления и статический момент расчётного поперечного сечения (например, мидель-шпангоута), включающего только продольные связи. В расчётах действительное поперечное сечение корпуса судна заменяют совокупностью продольных связей, которую называют эквивалентным брусом (рис. 2.1, б). Он представляет собой условный брус (балку) с поперечным сечением, составленным из поперечных сечений продольных балок, площадь и момент инерции которых равны площади и моменту инерции поперечного сечения корпуса.

Стенкой этого бруса являются вертикальные борта и продольные переборки, а поясками – наружная обшивка днища, второго дна и настилы палуб. Поперечное сечение бруса эквивалентно в смысле сопротивления изгибу, рассматриваемому поперечному сечению корпуса.

Таким образом, эквивалентный брус является геометрической моделью поперечного сечения корпуса, которая используется для проверки его общей прочности при изгибе его как балки загруженной весом и силами поддержания. Поперечные сечения корпуса симметричны относительно ДП, поэтому одна из главных центральных осей будет лежать в этой плоскости, а другая – горизонтально. Вычисляют момент инерции сечения для одной его половины и результаты удваивают.

Для проверки прочности корпуса при общем продольном изгибе необходимо определить характеристики эквивалентного бруса, составленного для расчётного сечения: момент инерции, моменты сопротивления и статические моменты.

По данным характеристикам рассчитывают максимальные нормальные напряжения в связях рассматриваемого сечения и сравнивают их с допускаемыми. По результатам сравнения даются рекомендации по изменению конструктивных элементов или замене категории материала.

2.2. Порядок выполнения задания

Расчет эквивалентного бруса и определение напряжений в корпусе судна на волнении

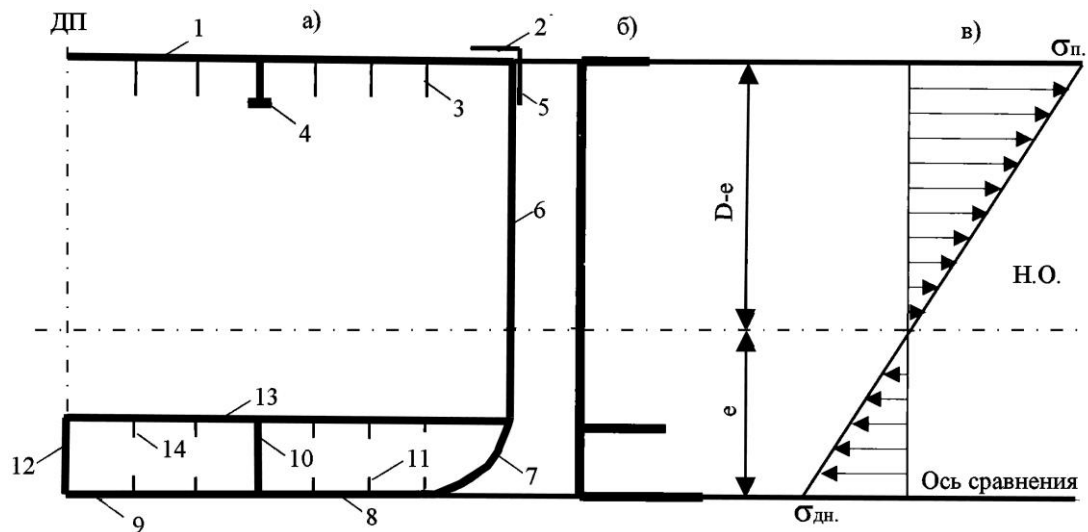


Рис. 2.1. Схема поперечного сечения корпуса судна:

- 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

1. По выбору преподавателя для одного из выполненных эскизов типов судов определяются главные размерения.

2. Используя выбранный мидель-шпангоут, составить схему продольных связей, участвующих в обеспечении общей продольной прочности судна (эквивалентный брус), рис. 2.1, а.

3. Выбрать материал корпуса судна.

4. Вычислить водоизмещение судна, т

$$\Delta = L \cdot B \cdot d \cdot C_b \cdot \gamma, \quad (2.1)$$

где $\gamma = 1,025 \text{ т/м}^3$;

C_b – коэффициент общей полноты судна;

$C_b = 0,8$ – для танкеров; $0,75$ – для сухогрузных и навалочных судов; $0,6$ – для промысловых судов.

5. Вычислить изгибающий момент, возникающий в корпусе на волнении, по приближённой формуле, кН·м

$$M = \frac{\Delta \cdot L}{K}, \quad (2.2)$$

где $K = 40$ – для сухогрузного и навалочного судов;

$K = 35$ – для танкера.

Момент положительный при положении на вершине волны и отрицательный при положении судна на подошве волны.

6. Вычислить характеристики эквивалентного бруса в табличной форме (табл. 2.1).

Собственные моменты инерции следует учитывать только для связей, ориентированных вертикально и имеющих сравнительно большую высоту (вертикальный киль, обшивка борта и т.д.) по формулам, см²м² [м⁴]*:

Для прямоугольного сечения

$$i = \frac{Fh^2}{12}.$$

Для скулового листа

$$i = 0,096 \cdot r^2 F,$$

где F – площадь связи, см² [м²];

h – высота связи, м;

r – радиус закругления скулы, м.

*Здесь и далее в тексте и обозначениях физические величины показаны в единицах, принятых в судостроении, а в квадратных скобках приведены физические величины в единицах СИ.

По результатам расчётов в табл. 2.1 определяются характеристики эквивалентного бруса.

Т а б л и ц а 2.1

Вычисление геометрических характеристик эквивалентного бруса

Наименование связи	Размер b*t, мм [м]	Площадь сечения F _i , см ² [м ²]	Отстояние от оси сравнения Z _i , м	Моменты			Напряжение от общего изгиба	
				Статический F _i *Z _i , см ² м [м ³]	Переносный F _i *Z _i ² , см ² м ² [м ⁴]	Собственный i _i см ² м ² [м ⁴]	На вершине волны σ _в , МПа	На подошве волны σ _п , МПа
1. Лист настила ВП	1600*13	208,0	12,6	2621	33022		66,9	6,5
2. Палубный стрингер								
...								
14. Продольные балки II дна	5*8,63	43,2						
Σ		A		B	C			

Отстояние нейтральной оси от оси сравнения, м

$$e = \frac{B}{A}. \quad (2.3)$$

Момент инерции относительно нейтральной оси, см²м² [м⁴]

$$I_{HO} = 2 \cdot \left(C - \frac{B^2}{A} \right). \quad (2.4)$$

Моменты сопротивления поперечного сечения относительно палубы и днища, см³ [м³]

$$W_{\Pi} = \frac{I_{HO}}{H - e}; \quad (2.5)$$

$$W_{Д} = \frac{I_{HO}}{e}. \quad (2.6)$$

7. Вычислить напряжение в основных связях корпуса по формуле, МПа

$$\sigma_i = \frac{M}{I_{HO}} Z_i, \quad (2.7)$$

где Z_i – отстояние рассматриваемой связи от нейтральной оси, м.

Сравнить полученные напряжения в связях с допускаемыми напряжениями $\sigma_{\text{доп}}$, МПа:

$$\sigma_i \leq \sigma_{\text{доп}}.$$

Допускаемые напряжения принять:

$$\sigma_{\text{доп}} = 0,5 \cdot R_{\text{ЕН}} - \text{для сухогрузных и навалочных судов};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 0,45 \cdot R_{\text{ЕН}} - \text{для наливных судов},$$

где $R_{\text{ЕН}}$ – предел текучести стали, МПа.

Сделать заключение об общей прочности корпуса судна.

При невыполнении данного условия дать рекомендации по изменению конструктивных элементов корпуса судна или замене марки материала. На рис. 2.1, в показать распределение нормальных напряжений по высоте поперечного сечения корпуса судна (эквивалентного бруса).

Исходные данные для расчета эквивалентного бруса приведены для судов различного архитектурно-конструктивного типа в табл. прил. А.1, А.2, А.3.

2.3. Пример расчета

Танкер предназначен для перевозки сырой нефти.

Судно морское самоходное, со стальным сварным корпусом, нормальных образований, однопалубное, с кормовым расположением МКО.

Судно спроектировано по Правилам классификации и постройки морских судов на класс: КМ ★ Ice2 R1 1 Aut1 Oil tanker.

Главные размерения:

$$L = 108,5 \text{ м}$$

$$B = 16 \text{ м}$$

$$d = 5,8 \text{ м}$$

$$D = 7,8 \text{ м}.$$

Основной материал корпуса – сталь категории А32, $R_{\text{ЕН}} = 315$ МПа.

Система набора продольная.

Нормальная шпация в средней части судна считается и определяется по формуле:

$$a_o = 0,002 L + 0,48, \text{ м};$$

$$a_o = 0,002 * 108,5 + 0,48 = 0,697 \text{ м}.$$

Принимаем $a_o = 0,7$ м в средней части судна.

Вычислим водоизмещение судна, т.

$$\Delta = L * B * d * C_b * \gamma = 108,5 * 16 * 5,8 * 0,8 * 1.025 = 8256,4 \text{ т} \\ = 8256,4 * 10^3 \text{ кг}$$

C_b – коэффициент общей полноты судна, $C_b = 0,8$ для танкеров.

Вычисляем изгибающий момент, возникающий в корпусе на волнении, по приближенной формуле, кН*м

$$M = \frac{\Delta * L}{K} = \frac{8256,4 * 108,5}{35} = -25594,8 \frac{\text{т} * \text{м}}{\text{с}^2} * \text{м} \\ = -25594,8 * 10^4 \left[\frac{\text{кг} * \text{м}}{\text{с}^2} \text{м} \right] = -25594,8 \text{ кН} * 10^4 \text{ кН} * \text{м}$$

где $K = 35$ – для танкера.

Расчет эквивалентного бруса выполняется в табл. 2.2.

Отстояние нейтральной оси от оси сравнения:

$$L_{н.о.} = B / A,$$

где A – сумма площадей продольных связей.

Собственный момент инерции учитывается только для связей, ориентированных вертикально и имеющих сравнительно большую высоту – листы вертикального киля, ширстрек, обшивка борта, палубный стрингер, скуловой пояс, днищевой стрингер.

Для прямоугольного сечения, $\text{м}^4 [\text{см}^2 * \text{м}^2]$:

$$i = \frac{Fh^2}{12}.$$

Для скулового листа, заменяя его одной четвертой окружности:

$$i = 0,096 \cdot r^2 F,$$

где F – площадь связи, $\text{см}^2 [\text{м}^2]$;

h – высота связи, м;

r – радиус закругления скулы, м.

Отстояние нейтральной оси от оси сравнения:

$$e = \frac{B}{A} = 3,87 \text{ м.}$$

Т а б л и ц а 2.2

Расчет эквивалентного бруса

Наименование связи	Размер $t \cdot b$, мм [м]	Площадь сечения F_i , см^2 [м^2]	Отстояние от оси сравнения Z_i , м	Моменты			Напряжение от общего изгиба
				Статический $F_i \cdot Z_i$, $\text{см}^2 \cdot \text{м}$ [м^3]	Переносный $F_i \cdot Z_i^2$, $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$ [м^4]	Собственный i_i $\text{см}^2 \cdot \text{м}^2$ [м^4]	На подопле волны σ_p , МПа
1. Настил ВП	11*6200	682	7,7945	5315,849	41434,4		-107,1
2. Палубный стрингер	14*1800	252	7,7943	1964,214	15310,1		-105,7
3. Ширстрек	16*1800	288	6,9	1987,2	13711,7	1142,64	-82
4. НО борта	12*4450	534	3,775	2015,85	7609,83	634,15	-2,6
5. Скула	12*2433	292	0,775	226,3	175,38	67,34	84,5
6. НО днища	14*5450	763	0,007	5,341	0,037		105,4
7. ГК	18*1000	180	0,008	1,44	0,0115		105,4
8. ВК	14*1800	252	0,9	22,68	20,412	17,01	81
9. Поясок ГК	24*400	96	1,812	173,952	315,20		56,2
10. Отбойный лист	11*1450	159,5	7,075	1128,463	7983,88	665,323	-87,5
11. Поясок отбойного листа	16*150	24	6,342	152,208	965,303		-67,4
12. Бортовой стрингер х2	11*600	66	3,9	514,8	2007,72		-8,2
13. РЖ днища	9 шт	21,6	0,0975	18,954	1,848		103
14. РЖ ВП	10 шт	21,6	7,7025	1663,74	12814,96		-104,6
15. РЖ ВК	2 шт	21,6	0,9	38,88	35		-81,1
16. РЖ отбой- ного листа х2	-	21,6	7,075	305, 64	2162,4		-87,5
17. Гофр. переборка	10*8970	897		4023,045	18043,4	1503,61	-16,8
Σ		A = 5048,3		B = 19558,55	C = 122591,47		

Момент инерции сечения относительно нейтральной оси:

$$I_{HO} = 2 * \left(C - \frac{B^2}{A} \right) = 2 * \left(122591,47 - \frac{(19558,55)^2}{5048,3} \right) = 93632 \text{ см}^2 \text{ м}^2 \\ = 93632 * 10^{-4} \text{ м}^4$$

Моменты сопротивления поперечного сечения относительно палубы и днища, см³ [м³]

$$W_{\Pi} = \frac{I_{HO}}{H - e} = \frac{93632}{7,800 - 3,87} = 23824,9 \text{ см}^2 \text{ м} = 23824,9 * 10^{-4} \text{ м}^3 ;$$

$$W_{\text{д}} = \frac{I_{HO}}{e} = \frac{93632}{3,87} = 24194,3 \text{ см}^2 \text{ м} = 24193,3 * 10^{-4} \text{ м}^3$$

Напряжения в основных связях корпуса, МПа, вычисляются в табличной форме, табл. 2.2.

$$\sigma_i = \frac{M}{I_{HO}} Z_i \left[\frac{\text{Н} * \text{м} * \text{м}}{\text{м}^4} \right] = \left[\frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \right] = [\text{Па}]$$

где Z_i – отстояние рассматриваемой связи от нейтральной оси, м.

Сравниваем полученные напряжения в связях с допускаемыми напряжениями $\sigma_{\text{дон}}$, МПа: $\sigma_i \leq \sigma_{\text{дон}}$.

Допускаемые напряжения принимаем:

$$\sigma_{\text{дон}} = 0,45 \cdot R_{EH} \text{ – для наливных судов,}$$

где R_{EH} – предел текучести стали, МПа;

$$R_{EH} = 315 \text{ МПа;}$$

$$\sigma_{\text{дон}} = 0,45 \cdot R_{EH} = 141,75 \text{ МПа.}$$

Вывод: расчетные напряжения в связях корпуса меньше допускаемых, то есть условие прочности выполняется.

2.4. Контрольные вопросы

1. Как выбрать марку материала для корпусных конструкций?
2. Как рассчитать минимальные толщины связей корпуса судна по Регистру?
3. Какие силы действуют на корпус судна?
4. Что такое эквивалентный брус?
5. Назвать геометрические характеристики эквивалентного бруса.
6. В чем заключается условие прочности?
7. Какие можно дать рекомендации к конструкции корпуса, если условие прочности не выполняется?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила классификации и постройки морских судов. Российский морской регистр судоходства: – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2021. – Часть II. Корпус. – 319 с. <http://rs-class.org/ru/>
2. Кузьмина А.В. Конструкция стационарных и плавучих сооружений: учеб. пособие / А.В. Кузьмина, В.Р. Душко, В.С. Игнатович, М.Г. Балашов. – Севастополь: СевНТУ, 2013. – 212 с.: ил.
3. Барабанов Н.В. Конструкция морских судов /Н.В. Барабанов, Г.П. Турмов. – СПб.: Судостроение, 2002. – Т.1. – 448 с.
4. Барабанов Н.В. Конструкция морских судов /Н.В. Барабанов, Г.П. Турмов. – СПб.: Судостроение, 2002. – Т.2. – 472 с.
5. Альбом конструктивных мидель-шпангоутов: учеб. пособие. – Л.: ЛКИ, 1970. – 134с.
6. Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники: метод. указания к выполнению самостоятельной работы студентами специальности 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей, судов и объектов океанотехники всех форм обучения / Сост. А.В. Кузьмина, М.Г. Балашов. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 23 с.
<http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/8641>
7. Конструкция корпуса судов: методические указания к выполнению самостоятельной работы студентов направления подготовки 26.03.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры всех форм обучения / Сост. А.В. Кузьмина, М.Г. Балашов. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 24 с.
<http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/8637>

Информационные ресурсы

1. Электронный курс «Конструкция корпуса судов» (Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники) – часть 1
<https://do.sevsu.ru/course/view.php?id=3134>
2. <http://www.twirpx.com/files/transport/shipbuilding/>
3. <http://deckofficer.ru/seasoft/item/hull>
4. <http://nashaucheba.ru/>
5. <http://korabley.net/news/>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Т а б л и ц а А.1

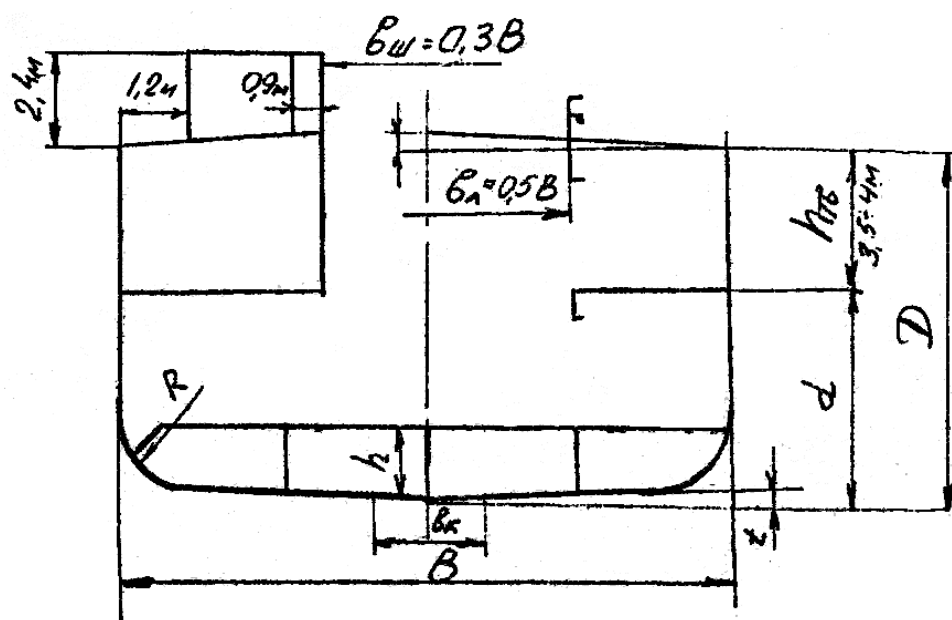
Основные характеристики сухогрузных судов

Характеристики		Сухогрузное судно									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина, м	L	140	148	143	142	91	145	141	110	156	95
Ширина, м	B	20,0	21,0	20,5	23,0	14,0	22,0	22,8	14,8	21,8	14,3
Высота борта, м	D	12,0	12,6	11,8	14,4	8,0	12,3	14,2	8,6	12,9	7,1
Осадка, м	d	7,5	8,0	6,9	8,4	5,5	7,9	8,1	6,2	9,4	6,5
Водоизмещение полное, т	x103	13,7	16,2	13,2	17,8	4,6	16,4	16,9	6,6	21,5	6,37
Водоизмещение порожнем, т	x103	4,6	5,4	4,4	5,9	1,5	5,5	5,6	2,2	10,1	3,0
Палубы (количество)	n1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1
Расположение	MO	К*	Пр**	К	Ср**	К	К	К	К	К	К
Ширина люка	b1	0,5B									
Ширина шахты	b2	0,3B									
Радиус скулы	Rc	0,9 высоты двойного дна									
Категория подкреплений	***	Ice2	Arc4	Ice3	Arc4	Ice2	Ice3	Arc4	Arc4	Ice3	Arc4
Район эксплуатации		R1	R2	R1	R2	R1	R1	R2	R1	R1	R2
Подъем линии днища	t	0,15	0,16	0,14	0,17	0,11	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16

* Кормовое расположение машинного отделения (МО).

** Промежуточное, среднее расположение машинного отделения (МО).

** По Правилам Регистра.



Т а б л и ц а А.2

Основные характеристики наливных судов

Характеристики		Наливное судно									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина, м	L	150	195	213	174	215	165	182	208	188	214
Ширина, м	B	21,0	27,0	32,0	23,4	31,0	23,0	24,3	28,2	25,8	31,0
Высота борта, м	D	11,2	14,2	15,2	12,5	15,5	12,4	13,8	14,2	13,7	15,4
Осадка, м	d	8,0	10,5	11,0	9,0	11,3	9,5	10,5	11,0	10,7	11,6
Водоизмещение полное, т	x103	20,7	45,3	61,5	30,1	61,8	29,6	38,1	52,9	39,7	62,6
Водоизмещение порожнем, т	x103	6,9	15,1	20,5	10,0	20,6	9,9	12,7	17,6	12,6	17,8
Продольные переборки	n2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Расположение	MO	K*	K	K	K	K	K	K	K	K	K
Ширина шахты	b2	0,3B									
Радиус скулы	Rc	0,9 высоты двойного дна									
Категория подкреплений	***	Ice2	Arc4	Ice3	Arc4	Ice2	Ice3	Arc4	Ice3	Ice2	Arc4
Район эксплуатации	***	R1	R2	R1	R2	R1	R1	R2	R1	R1	R2

*Кормовое расположение машинного отделения (МО).

**Промежуточное, среднее расположение машинного отделения (МО).

*** По Правилам Регистра.

Т а б л и ц а А.3

Основные характеристики навалочных судов

Характеристики		Навалочное судно									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина, м	L	215	186	180	172	181	190	178	204	189	201
Ширина, м	B	31,0	27,6	28,0	22,8	20,5	29,5	23,4	28,5	27,2	31,8
Осадка, м	d	11,0	10,0	11,2	9,1	11,4	12,3	10,2	12,4	10,0	12,3
Высота борта, м	D	16,0	15,6	16,0	13,6	16,4	16,8	14,6	15,9	15,6	16,9
Водоизмещение полное, т	$\times 10^3$	58,7	41,1	45,2	28,6	36,1	54,6	34,0	57,7	45,4	64,7
Водоизмещение порожнем, т	$\times 10^3$	19,6	13,7	15,1	9,5	12,0	18,2	11,3	19,2	12,2	16,8
Палубы (количество)	n1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Расположение	МО	К*	К	К	К	К	К	К	К	К	К
Ширина люка	b1	0,4B	0,5B	0,4B	0,5B	0,4B	0,5B	0,4B	0,5B	0,5B	0,5B
Ширина шахты	b2	0,25B									
Радиус скулы	Rc	0,9 высоты двойного дна									
Подпалубная цистерна	Нп	0,25B									
Скуловая цистерна	Нс	0,3D									
Отстояние цистерны	h3	0,35D									
Категория подкреплений	***	Ice2	Arc4	Ice3	Arc4	Ice2	Ice3	Arc4	Ice3	Ice2	Arc4
Район эксплуатации	***	R1	R2	R1	R2	R1	R1	R2	R1	R1	R2

*Кормовое расположение машинного отделения (МО).

**Промежуточное, среднее расположение машинного отделения (МО).

***По Правилам Регистра.

$$\alpha = 30^0; \beta = 45 - 55^0$$

$$b_n = (0,4 \div 0,5) \cdot B$$

$$b_1 = (0,7 \div 0,75) \cdot B$$

$$b_2 = (0,1 \div 0,15) \cdot B$$

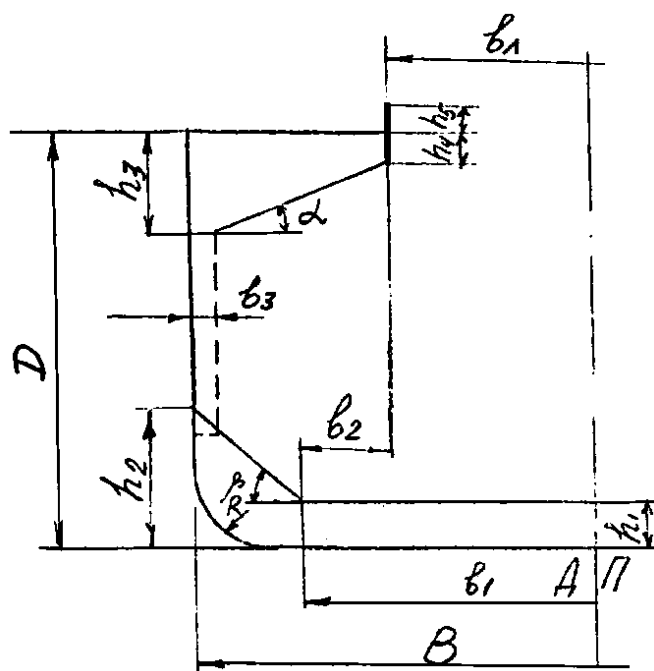
$$b_3 = (0,8 \div 1,2) \text{ м}$$

$$h_1 = (0,11 \div 0,13) \cdot D$$

$$h_2 = (0,35 \div 0,37) \cdot D$$

$$h_3 = (0,2 \div 0,3) \cdot D$$

$$h_4 = (1,6 \div 2,00) \text{ м}$$



ПРИЛОЖЕНИЕ Б

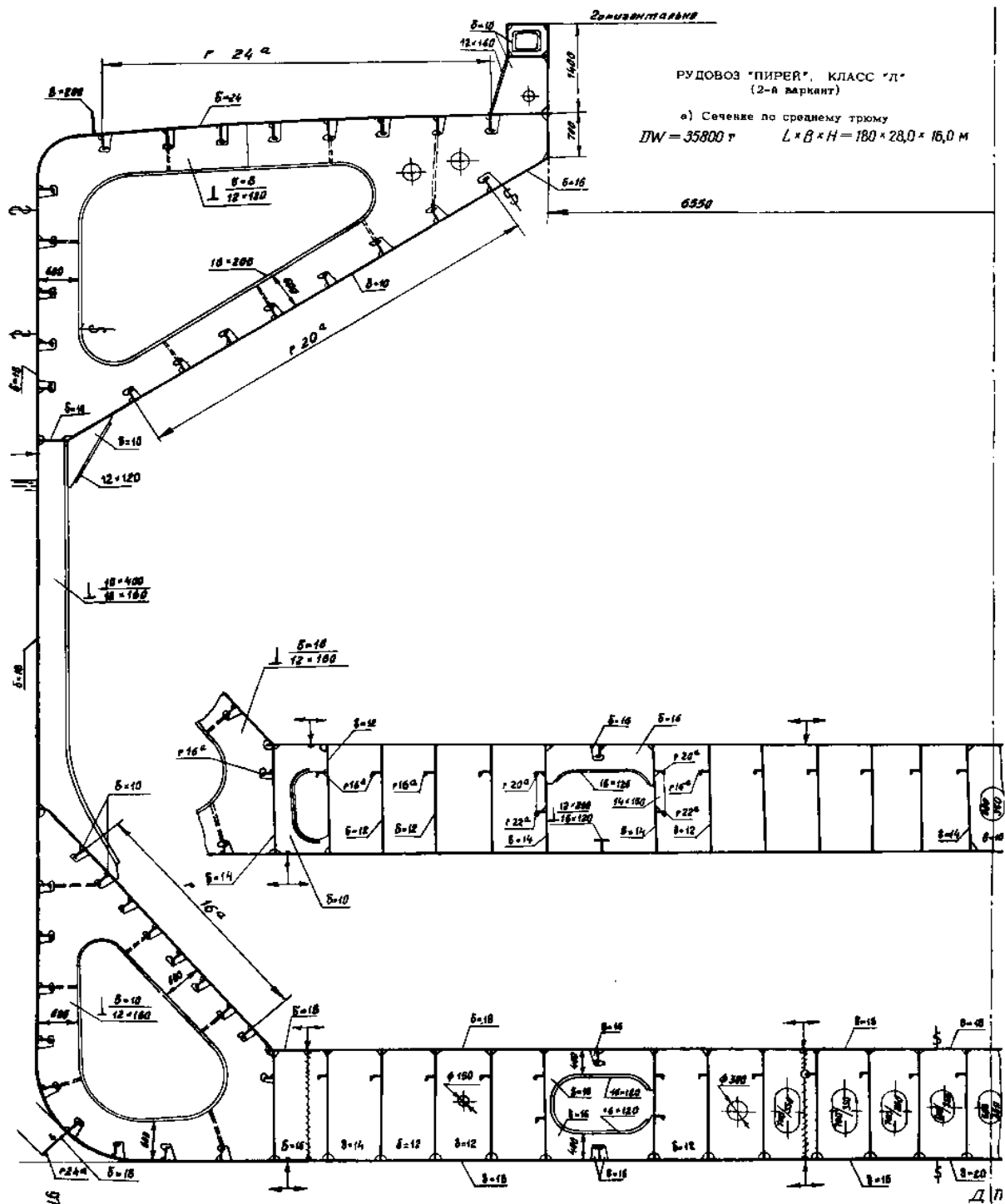


Рис. Б.1. Эскиз мидель-шпангоута навалочного судна

СУХОГРУЗНЫЙ ТЕПЛОХОД С ДВОЙНЫМИ БОРТАМИ, КЛАСС "Л",
ОГРАНИЧЕННЫЙ РАЙОН ПЛАВАНИЯ
(финской постройки)

Перевозка ген.груза, зерна, леса

а) Сечение по сплошному флору

$DW=1915\text{ т}$

$L \times B \times H = 86 \times 12,0 \times 5,10\text{ м}$

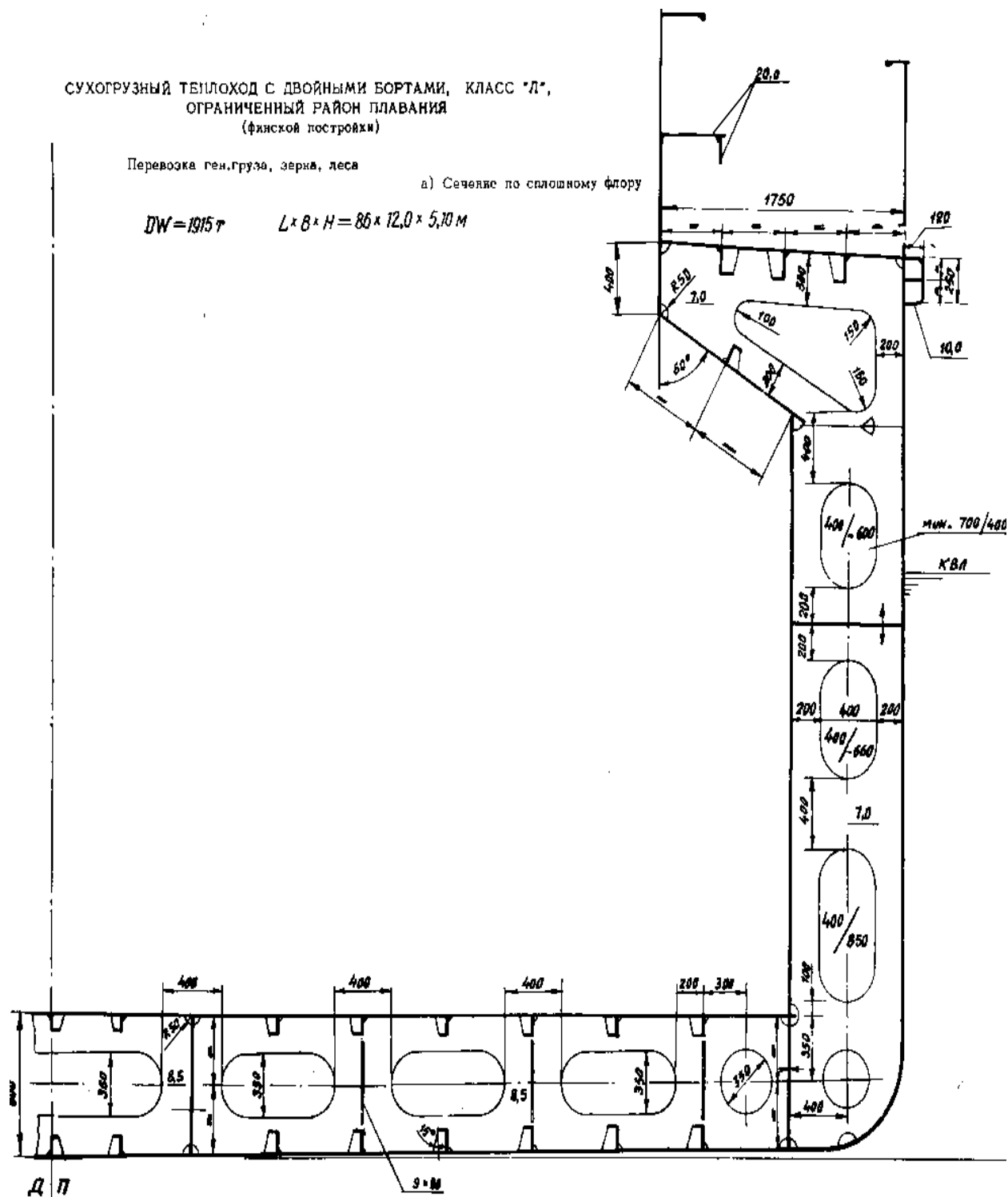


Рис. Б.2. Эскиз мидель-шпангоута сухогрузного судна

[illegible]

25

ПРИЛОЖЕНИЕ В
ФОРМА ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Морской институт
Кафедра «Океанотехника и кораблестроение»
Специальность 26.05.01 Проектирование и постройка кораблей,
судов и объектов океанотехники

Специализация Проектирование и постройка судов и объектов
океанотехники

Курс ____ Группа ПК/с-XX-1-з Семестр ____

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА
по дисциплине

Конструкция корпуса кораблей, судов и объектов океанотехники
(название дисциплины)
на тему: Определение напряжений в корпусе судна

Выполнил: обучающийся группы
ПК/с-XX-1-з
Фамилия И.О.
(инициалы, фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Научный руководитель: И.О. Фамилия
(инициалы, фамилия)

« ____ » _____ 20 ____ г.

Оценка: _____

« ____ » _____ 20 ____ г.

г. Севастополь
20 ____ г.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В КОРПУСЕ СУДНА

*Методические указания
к выполнению контрольных работ*

Составители: **Кузьмина** Анна Валентиновна,
Балашов Михаил Георгиевич

В авторской редакции

Изд. № 61/2022. Объем 1,75 п.л. Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,715.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»