

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кафедра Суднобудування та ремонту суден

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри



О.В. Щедросев

«14» червня 2024 р.

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

на тему: Проект суховантажного судна з розробкою рульового пристрою судна

Виконав: студент 4111зш групи



Мороз С.В.

Керівник роботи:

к.т.н, доцент



Кузнєцов А.І.

Херсон – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Херсонський навчально-науковий інститут
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова

Кафедра Суднобудування та ремонту суден

Спеціальність 135 «Суднобудування»

Освітня програма «Кораблі та океанотехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Гарант освітньої програми
 Кузнєцов А.І.
«04» березня 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

Мороз Сергій Валентинович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Проект суховантажного судна з розробкою рульового пристрою судна**

Керівник роботи к.т.н, доцент Кузнєцов А.І.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Затверджені наказом по ХННІ НУК № **01** від «**04**» **березня 2024 року**

2. Строк подання студентом роботи 07.06.2023 року

3. Вихідні дані до роботи:

3.1. Вантажопідйомність (вантажомісткість) 13000 т

3.2. Вид вантажу (питома завантажувальна кубатура) вантаж густиною 2,60 т/м³

3.3. Швидкість експлуатаційна 12,0 вузлів

3.4. Клас судна за Правилами РСУ для морських суден: КМ  A1 genaral cargo ship

3.5. Дальність та район плавання 6000 миль, необмежений

3.6. Додаткові вимоги Забезпечити каюти екіпажу – одномісні, практикантів – двомісні

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Визначення водотоннажності та головних розмірювань судна.

4.2. Розробка теоретичного креслення.

4.3. Набір корпусу за Правилами Регістру.

4.4. Розробка рульового пристрою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) / Перелік презентаційних матеріалів:

5.1. Теоретичне креслення.

5.2. Креслення загального розташування: боковий вид та план верхньої палуби.

5.3. Конструктивний мідель-шпангоут судна.

5.4. Рульовий пристрій.

5.5. Демонстраційна таблиця.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата			
		завдання видав		завдання прийняв	
проектування судна	доцент Кузнєцов А.І.		04.03.2024		04.03.2024
побудова теоретичного креслення	доцент Кузнєцов А.І.				
конструкція корпусу	доцент Кузнєцов А.І.				
рульовий пристрій	доцент Кузнєцов А.І.				

7. Дата видачі завдання 04.03.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Визначення основних елементів і характеристик судна-проекту.	15.03.2024	
2.	Побудова теоретичного креслення.	12.04.2024	
3.	Набір корпусу за Правилами класифікаційного товариства. Конструктивний мідель-шпангоут.	19.04.2024	
4.	Розрахунок рульового пристрою. Рульовий пристрій	17.05.2024	
5.	Демонстраційна таблиця	24.05.2024	
6.	Оформлення пояснювальної записки та завершення оформлення кваліфікаційної роботи й презентацій.	07.06.2024	

Студент



С.В. Мороз

Керівник



А.І. Кузнєцов

ЗМІСТ

Анотація	5
Вступ.....	7
1. Визначення водотоннажності та головних розмірів.....	10
2. Розробка теоретичного креслення.....	20
3. Проектування конструктивного мідель-шпангоута	27
4. Розрахунок рульового пристрою.....	40
Висновки	54
Список використаної літератури.....	55

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АНОТАЦІЯ

Відповідно до завдання на дипломну роботу бакалавра, виданого кафедрою суднобудування та ремонту суден Херсонського навчально-наукового інституту НУК, спроектовано суховантажне судно вантажопідйомністю 13000 тон.

У розрахунковій частині проекту виконане наступне:

- визначені водотоннажність судна та головні розміри:
- довжина судна між перпендикулярами $L = 139,8$ м;
- ширина судна $B = 19,10$ м;
- висота борту $D = 8,15$ м;
- осадка на міделі $d = 6,20$ м;
- розроблене теоретичне креслення корпусу судна;
- спроектовано конструктивний мідель–шпангоут судна згідно

Правил Регістру судноплавства України;

- проведено розрахунок рульового пристрою судна.

В дипломній роботі для проведення розрахунків та виконання графічної частини використовувались спеціалізовані комп'ютерні програми (автоматичні графічні системи): «FreeShip+», Rhinoceros.

Спроектоване судно задовольняє завданню на дипломне проектування, вимогам Правил Регістру судноплавства України та іншим нормативним документам.

Ключові слова: водотоннажність, проектування, рульовий пристрій, суднобудування, суховантажне судно, теоретичне креслення.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ANNOTATION

In accordance with the terms of reference for the bachelor's thesis issued by Department of Shipbuilding and Ship Repair of the Kherson Educational-Scientific Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, a general cargo ship is projected by a carrying capacity a 13000 tone.

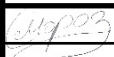
The following was done in the design calculation part of the project:

- determination of the ship's displacement and main dimensions:
- length between perpendiculars $L = 139,8$ m;
- beam $B = 19,10$ m;
- height $D = 8,15$ m;
- draft on the midship $d = 6,20$ m;
- development of the theoretical drawing of the ship's hull;
- the structural midship–framework of the vessel has been designed in accordance with the Rules of the Ukrainian Register of Shipping;
- calculation of the ship's steering device.

Specialised computer programmes (automatic drafting systems) were used in the thesis to perform calculations and produce the graphical part: «FreeShip+», Rhinoceros. The designed vessel meets the requirements of the thesis design brief, the Rules of the Ukrainian Register of Shipping and other regulatory documents.

Keywords: displacement, design, steering gear, shipbuilding, dry cargo vessel, theoretical drawing.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ									
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Студент		Мороз			Вступ				Літ.		Арк.	Акрушів		
Консульт.		Кузнецов												
Керівник		Кузнецов							ХННІ НУК					
Зав. кафедр.		Щедролосєв												

ВСТУП

Суховантажного судна є типом суден, що використовуються для транспортування різноманітних сухих вантажів, від упакованих продуктів харчування та одягу до будівельних матеріалів та машин. Ці судна розроблені з урахуванням гнучкості, здатні приймати широкий спектр типів та розмірів вантажів та часто використовуються як в короткій, так і в довготривалій перевезеннях.

Суховантажного судна мають різні розміри та конструкції, залежно від типу вантажу, який вони призначені перевозити, та конкретних торгових маршрутів, які вони будуть проходити. Ці судна можуть варіюватись від невеликих прибережних суден, що здатні перевозити кілька сотень тонн вантажу, до великих океанських суден з вантажопідйомністю від десятків тисяч тонн.

Більшість з суховантажних суден обладнані різноманітним обладнанням для обробки вантажів, включаючи крани та конвеєрні ленти, що полегшують завантаження та розвантаження вантажу. Ці судна також можуть бути обладнані холодильними вантажними трюмами для перевезення швидкопсувних товарів або ємностями для рідкого вантажу.

Обробка та завантаження вантажу на судні загального призначення є складним процесом, який потребує обережного планування та виконання. Перед завантаженням треба перевірити та очистити трюми від сміття та забруднень, які можуть пошкодити вантаж. Після підготовки трюмів, вантаж завантажують на судно за допомогою різноманітного обладнання, включаючи кранів, вилкопідіймачів та конвеєрних лент.

Під час завантаження вантаж потрібно ретельно розмістити та закріпити, щоб він рівномірно розподілявся по всьому судну та не зміщувався під час транспортування. Це особливо важливо для важкого або габаритного вантажу, який може загрожувати стабільності судна, якщо його не відповідно закріпити.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Судна загального призначення повинні дотримуватися широкого спектру вимог щодо безпеки та регулювання, щоб забезпечити безпеку екіпажу, вантажу та навколишнього середовища. Ці вимоги охоплюють широкий спектр питань, включаючи проектування та будівництво суден, обслуговування безпекового обладнання, обробку та складування вантажу, а також навчання та сертифікацію екіпажу.

Крім того, експлуатанти суден загального призначення повинні дотримуватися міжнародних та місцевих екологічних нормативів, включаючи вимоги щодо викидів, утилізації відходів та управління баластною водою.

Суховантажні судна відіграють важливу роль у глобальній судноплавній індустрії, забезпечуючи гнучкий та економічний засіб транспортування різноманітних сухих товарів по всьому світу. Ці судна розроблені з урахуванням безпеки та ефективності і потребують ретельного планування та виконання, щоб забезпечити безпечний транспорт вантажу. Незважаючи на труднощі, пов'язані з експлуатацією загальних вантажних суден, вони продовжують відігравати важливу роль у транспортуванні товарів через океани світу.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Студент		Мороз			Визначення водотоннажності та головних розмірів			Літ.		Арк.	Акрушів
Консульт.		Кузнецов									
Керівник		Кузнецов							ХННІ НУК		
Зав. кафедр.		Щедролосєв									

1 ВИЗНАЧЕННЯ ВОДОТОННАЖНОСТІ ТА ГОЛОВНИХ РОЗМІРІВ

Короткі відомості про судно прототип

Для судна, що проектується, вантажопідйомністю 13000 т, в якості прототипу використовуємо технічні данні суховантажного судна, основні характеристики наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні характеристики судна прототипу

Назва елементу	Позн.	Одиниця виміру	Числове значення
Довжина між перпендикулярами	$L_{\perp\perp}$	м	128,20
Довжина найбільша	L	м	133,10
Ширина	B	м	17,60
Висота борту	H	м	8,10
Осадка по КВЛ	T	м	5,16
Коеф. загальної повноти	C_b	-	0,837
Коеф. повноти міделя	C_m	-	0,995
Коеф. повноти КВЛ	C_w	-	0,933
Швидкість експлуатаційна	V_s	вуз.	12,0
Вантажопідйомність	Δ	т	8675
Дальність плавання		миль	6000
Екіпаж		осіб	12

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1. Визначення водотоннажності та головних елементів проекту у першому наближенні

Водотоннажність у першому наближенні Δ_0 визначається за формулою:

$$\Delta_0 = \frac{P_{\Gamma}}{\eta_{\Gamma}},$$

де $P_{\Gamma}=13000$ - задана вантажопідйомність судна, т,

$\eta_{\Gamma}=0,69$ – коефіцієнт утилізації водотоннажності за чистою вантажопідйомністю:

$$\Delta_0 = \frac{13000}{0,69} = 18043 \text{ т}$$

1.2. У першому наближенні потужність головних двигунів визначається за формулою адміралтейських коефіцієнтів:

$$N_0 = \Delta_0^{1/2} \cdot V_S^{5/2} / 27,2 \text{ кВт},$$

где V_S – швидкість ходу на випробуваннях, вуз

$$V_S = V_{\text{э}} \cdot 1,05 = 12,00 \cdot 1,05 = 12,60 \text{ вуз}$$

$$N_0 = 13043^{1/2} \cdot 12,60^{5/2} / 27,2 = 2366 \text{ кВт}.$$

Отримане значення потужності говорить про те, що в якості головного двигуна на проектуваному танкері може бути застосований малооборотний або середньооборотний двигун.

1.3. Визначення водотоннажності у першому наближенні

Точніші значення водотоннажності і інших елементів судна можуть бути отримані шляхом складання і рішення рівняння мас, яке має вигляд:

$$m\Delta - n\Delta^{2/3} - p\Delta^{1/2} = P_{\Gamma}$$

где P_{Γ} - задана вантажопідйомність судна, т.

Коефіцієнти рівняння m , n і p визначаються за такими формулами:

$$m = 1 - a_{\kappa} - a_{\text{эк}} - a_{\text{зв}},$$

$$n = a_y + a_{\text{ел}} + a_{\text{жсг}} + a_{\text{сн}},$$

$$p = a_{\text{эу}} + a_m,$$

где a_{κ} – вимірювач маси металевих корпусу,

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$a_{\text{ЭК}}$ – вимірювач маси команди,
 $a_{\text{ЗВ}}$ – вимірювач маси запасу водотоннажності,
 $a_{\text{У}}$ – вимірювач маси суднових пристроїв і систем,
 $a_{\text{ЭЛ}}$ – вимірювач маси електрообладнання,
 $a_{\text{ЖГ}}$ – Вимірювач маси рідких вантажів,
 $a_{\text{СН}}$ – вимірювач маси постачання,
 $a_{\text{ЭУ}}$ – вимірювач маси енергетичної установки,
 $a_{\text{Т}}$ – вимірювач маси палива.

1.3.1. Определение измерителей масс

Вимірювач маси по розділу « Установка энергетична » визначається за формулою:

$$a_{\text{ЭУ}} = \frac{q_{\text{ЭУ}} \cdot V_S^{5/2}}{27,2},$$

Для дизельних установок величина $q_{\text{ЭУ}}$ визначається за формулою:

$$q_{\text{ЭУ}} = 600/N^{1/4} = 600/2366^{1/4} = 86,02 \text{ кг/кВт},$$

$$a_{\text{ЭУ}} = \frac{86,02 \cdot 12,60^{5/2}}{27,2} = 3,98$$

Вимірювач маси по розділу « Запасы палива , воды , масла » визначається за формулою :

$$a_m = P_m / \Delta_0^{1/2},$$

$$\text{де } P_m = K_m \cdot q_m \frac{\Delta_0^{1/2} \cdot V_S^{3/2}}{27,2} \cdot R,$$

где $K_m = 1,15$ – коефіцієнт морського запасу,

R – дальність плавання , миль ,

$q_{\text{Т}}$ – питома витрата енергетичних запасів на всю СЕУ.

$$q_m = q'_m \cdot (1 + a''_m + a'''_m) \cdot K_c,$$

де q'_m – питома витрата палива , г / кВт год ,

$a''_{\text{Т}} = 0,03$ – коефіцієнт витрати масла для ДВЗ,

$a'''_{\text{Т}} = 0,03$ – коефіцієнт витрати води,

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_c = 1,25$ – коефіцієнт що враховує витрати палива на загальносуднову потреби.

$$q_m = 185 \cdot (1 + 0,03 + 0,03) \cdot 1,25 = 265 \text{ г/ кВт г},$$

$$P_m = 1,15 \cdot 265 \cdot 10^{-6} \frac{13043^{1/2} \cdot 12,60^{3/2}}{27,2} \cdot 6000 = 343 \text{ т.}$$

$$a_m = 343/13043^{1/2} = 3,01.$$

Вимірник маси по розділу «Запас водотоннажності» визначається за формулою [2]:

$$a_{3.6} = a'_{3.6}(1 - \eta_B),$$

де $a_{3.6} = 0,035$ - коефіцієнт запасу водотоннажності [1];

$\eta_B = 0,76$ – коефіцієнт утилізації водотоннажності за вантажем [1];

тоді

$$a_{3.6} = a'_{3.6}(1 - \eta_B) = 0,035(1 - 0,69) = 0,0108$$

Інші вимірники мас приймаємо за статистичними даними [1].

Всі вимірники мас зведено в таблицю 1.1.

Всі вимірювачі мас зведені в таблицю 1.1 :

Таблиця 1.1. Вимірювач мас

Розділ навантаження		Залежність від Δ	Вимірювач a_i	Прим.
01	Корпус	$a_K \cdot \Delta$	0,235	[2]
02	Судові пристрої	$a_y \cdot \Delta^{2/3}$	0,022	[2]
03	Системи	$a_c \cdot \Delta^{2/3}$	0,201	[2]
04	Енергетична установка	$a_{\text{эу}} \cdot \Delta^{1/2}$	3,98	розр.
05	Електрообладнання	$a_{\text{эл}} \cdot \Delta^{2/3}$	0,07	[2]
11	запас водотоннажності	$a_{3.6} \cdot \Delta$	0,0108	розр.
12	Рідкі вантажі	$a_{\text{жг}} \cdot \Delta^{2/3}$	0,008	[2]
13	Постачання , майно	$a_{\text{сн}} \cdot \Delta$	0,0115	[2]

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14	Екіпаж , провізія , вода	$a_{\text{эк}} \cdot \Delta$	0,0236	[2]
16	Запас палива , масла , води	$a_m \cdot \Delta^{1/2}$	3,01	розр.

1.3.2. Складання рівняння мас.

Підставляючи вимірювачі з таблиці 1.1 в формули отримуємо коефіцієнти рівняння мас :

$$\begin{aligned}
 m &= 1 - a_{\text{к}} - a_{\text{эк}} - a_{\text{зв}}, \\
 n &= a_{\text{у}} + a_{\text{ел}} + a_{\text{жг}} + a_{\text{сн}}, \\
 p &= a_{\text{эу}} + a_{\text{т}}, \\
 m &= 1 - 0,235 - 0,07 - 0,0108 = 0,684, \\
 n &= 0,022 + 0,07 + 0,008 + 0,0115 = 0,111, \\
 p &= 3,98 + 3,01 = 6,99.
 \end{aligned}$$

Таким чином , рівняння мас має вигляд:

$$\begin{aligned}
 m\Delta - n\Delta^{2/3} - p\Delta^{1/2} &= P_{\Gamma} \\
 0,684\Delta - 0,111\Delta^{2/3} - 6,99\Delta^{1/2} &= 13000
 \end{aligned}$$

1.3.3. Рішення рівняння мас.

Рівняння мас вирішуємо методом Ньютона.

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)}$$

где $f(x_n)$ – значення функції , що виражає рівняння,
 $f'(x_n)$ – значення першої похідної від цієї функції.

За початкове значення кореня рівняння мас приймається водотоннажність в нульовому наближенні :

$$\begin{aligned}
 f(\Delta_0) &= m\Delta_0 - n\Delta_0^{2/3} - p\Delta_0^{1/2} - P_{\Gamma} \\
 f(13000) &= 0,684 \cdot 13043 - 0,111 \cdot 13043^{2/3} - 6,99 \cdot 13043^{1/2} - 8675 \\
 f'(\Delta_0) &= m - \frac{2}{3}n\Delta_0^{-1/3} - \frac{1}{2}p\Delta_0^{-1/2} \\
 f'(13000) &= 0,684 - \frac{2}{3}0,111 \cdot 13043^{-1/3} - \frac{1}{2}6,99 \cdot 13043^{-1/2} \\
 \Delta_1 &= 13240 \text{ т.}
 \end{aligned}$$

Перевіримо правильність знайденого значення:

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01

Арк.

$$0,684 \cdot 13985 - 0,111 \cdot 13985^{2/3} - 6,99 \cdot 13985^{1/2} - 8675 = 0.$$

Таким чином , водотоннажність судна в першому наближенні :

$$\Delta_1 = 13043 \text{ т.}$$

Складаємо зведену таблицю розрахунку вагового навантаження в першому наближенні .

Таблиця 1.2. Вагове навантаження в першому наближенні

Розділ навантаження		Залежність від Δ	Маса P_i , т
01	Корпус	$a_k \cdot \Delta$	3286,5
02	Судові пристрої	$a_y \cdot \Delta^{2/3}$	12,7
03	Системи	$a_c \cdot \Delta^{2/3}$	116,6
04	Енергетична установка	$a_{\text{эу}} \cdot \Delta^{1/2}$	470,6
05	Електрообладнання	$a_{\text{эл}} \cdot \Delta^{2/3}$	40,6
11	запас водотоннажності	$a_{\text{зв}} \cdot \Delta$	151,0
12	Рідкі вантажі	$a_{\text{жсг}} \cdot \Delta^{2/3}$	4,6
13	Постачання , майно	$a_{\text{сн}} \cdot \Delta$	160,8
водотоннажність порожньом			4243,8
14	Екіпаж , провізія , вода	$a_{\text{эк}} \cdot \Delta$	330,0
15	Груз		9056,0
16	Запас палива , масла , води	$a_m \cdot \Delta^{1/2}$	355,9
Дедвейт			9742,0
Повна водотонажність			13240,8

Приймаємо $\Delta_1 = 13240 \text{ т.}$

1.4. Розрахунок головних розмірювань у першому наближенні.

1.4.1. Відносна довжина першого наближення визначається за емпіричною формулою:

$$l_1 = \left(2 + \frac{2}{\sqrt[3]{\Delta_1}}\right) V_S^{1/3} = \left(2 + \frac{2}{\sqrt[3]{13240}}\right) 12,60^{1/3} = 4,84.$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Довжина між перпендикулярами може бути визначена:

$$L_1 = L \Delta_1^{1/3} = 2,19 \cdot 13240^{1/3} = 139,8 \text{ м}$$

Для цього виразимо ширину і осадку в першому наближенні через довжину судна і раніш знайдені відношення (L/B) і (B/d);

$$B_1 = L_1/(L/B), d_1 = B_1/(B/d).$$

$$B_1 = 139,8/7,28 = 19,10 \text{ м};$$

$$d_1 = 19,10/3,41 = 6,20 \text{ м};$$

$$D_1 = d_1 \cdot (D/d) = 6,20 \cdot 1,57 = 8,15 \text{ м}$$

1.4.2. Визначаємо число Фруда:

$$Fr = \frac{0,514 V_S}{\sqrt{g L_1}} = \frac{0,514 \cdot 12,60}{\sqrt{9,81 \cdot 116,8}} = 0,191.$$

1.4.3. Визначаємо коефіцієнти повноти.

Кф. загальної повноти: $C_B = \delta = 1,09 - 1,68 \cdot Fr = 0,768$

Кф. повздовжньої повноти: $C_P = \varphi = 0,04 + 0,96 \delta = 0,778$

Кф. повноти ватерлінії: $C_W = \alpha = 0,8780 \varphi + 0,1733 = 0,856$

Кф. повноти мідель-шпангоута: $C_M = \beta = \delta / \varphi = 0,988$

1.4.4. Головні розмірювання судна в другому наближенні знаходяться за методом геометричної подібності. Коефіцієнти повноти у другому наближенні вважаються рівними коефіцієнтам повноти у першому наближенні:

$$C_{B_2} = C_{B_1} = 0,768;$$

$$C_{M_2} = C_{M_1} = 0,988;$$

$$C_{W_2} = C_{W_1} = 0,856.$$

Коефіцієнт подібності визначається за формулою

$$\lambda = \sqrt[3]{\frac{\Delta_2}{\Delta_1}} = \sqrt[3]{\frac{13986}{13043}} = 1,023;$$

$$L_2 = L_1 \cdot \lambda = 139,8 \cdot 1,0023 = 139,8 \text{ м};$$

$$B_2 = B_1 \cdot \lambda = 19,10 \cdot 1,0023 = 19,10 \text{ м};$$

$$D_2 = D_1 \cdot \lambda = 8,15 \cdot 1,0023 = 8,15 \text{ м};$$

$$d_2 = d_1 \cdot \lambda = 6,18 \cdot 1,0023 = 6,20 \text{ м};$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta_2 = K_{gc} \cdot \gamma \cdot C_{B_2} \cdot L_2 \cdot B_2 \cdot d_2 = 1,01 \cdot 1,025 \cdot 0,768 \cdot 141,8 \cdot 20,06 \cdot 6,20 = 13986 \text{ т.}$$

Повинна виконуватися умова $\left| \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{\Delta_2} \right| \leq 0,03;$

$$\left| \frac{13986 - 13043}{13986} \right| = 0,0067 \leq 0,03.$$

Так як умова виконується і різниця між значеннями водотоннажності у першому і другому наближеннях незначна (не більше 1 %), то немає необхідності виконувати третє наближення.

1.4.5 Таблиця 1.3 – Головні елементи судна в 1-му наближенні

Назва елементу	Позн.	Одиниця виміру	Числове значення
Довжина між перпендикулярами	$L_{\perp\perp}$	м	139,8
Ширина	B	м	19,010
Висота борту	D	м	8,15
Осадка по ВВЛ	d	м	6,20
Коеф. загальної повноти	C_B	-	0,768
Коеф. повноти міделя	C_M	-	0,988
Коеф. повноти ВВЛ	C_W	-	0,856
Коеф. поздовжньої повноти	C_P	-	0,778
Вагова водотоннажність	Δ	т	13240

Таблиця 1.3 – Головні елементи судна у другому наближенні

Назва елементу	Позначення	Одиниця виміру	Числове значення
Довжина між перпендикулярами	$L_{\perp\perp}$	м	139,8
Ширина	B	м	19,010
Висота борту	D	м	8,15
Осадка по ВВЛ	d	м	6,20
Коеф. загальної повноти	C_b	-	0,768
Коеф. повноти міделя	C_m	-	0,988
Коеф. повноти ВВЛ	C_w	-	0,856

Коеф. повздовжньої повноти	φ	-	0,778
Вагова водотоннажність	Δ	т	13240

1.5 Поділ судна на відсіки

Для розрахунку мас по інших розділах навантаження, що входять до складу водотоннажності порожньому і координат їх центрів ваги необхідно визначити розташування і довжину МВ, бака та інші конструктивні особливості судна. Для отримання цих даних необхідно зробити розподіл судна на відсіки.

1.5.6. Шпация в середній частині судна визначається за формулою Морського Регістру:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48 = 0,002 \cdot 139,8 + 0,48 = 0,759 \text{ м.}$$

Приймаємо $a_0 = 750 \text{ мм.}$

Шпацию в районі ахтерпика и форпика приймаємо 600 мм.

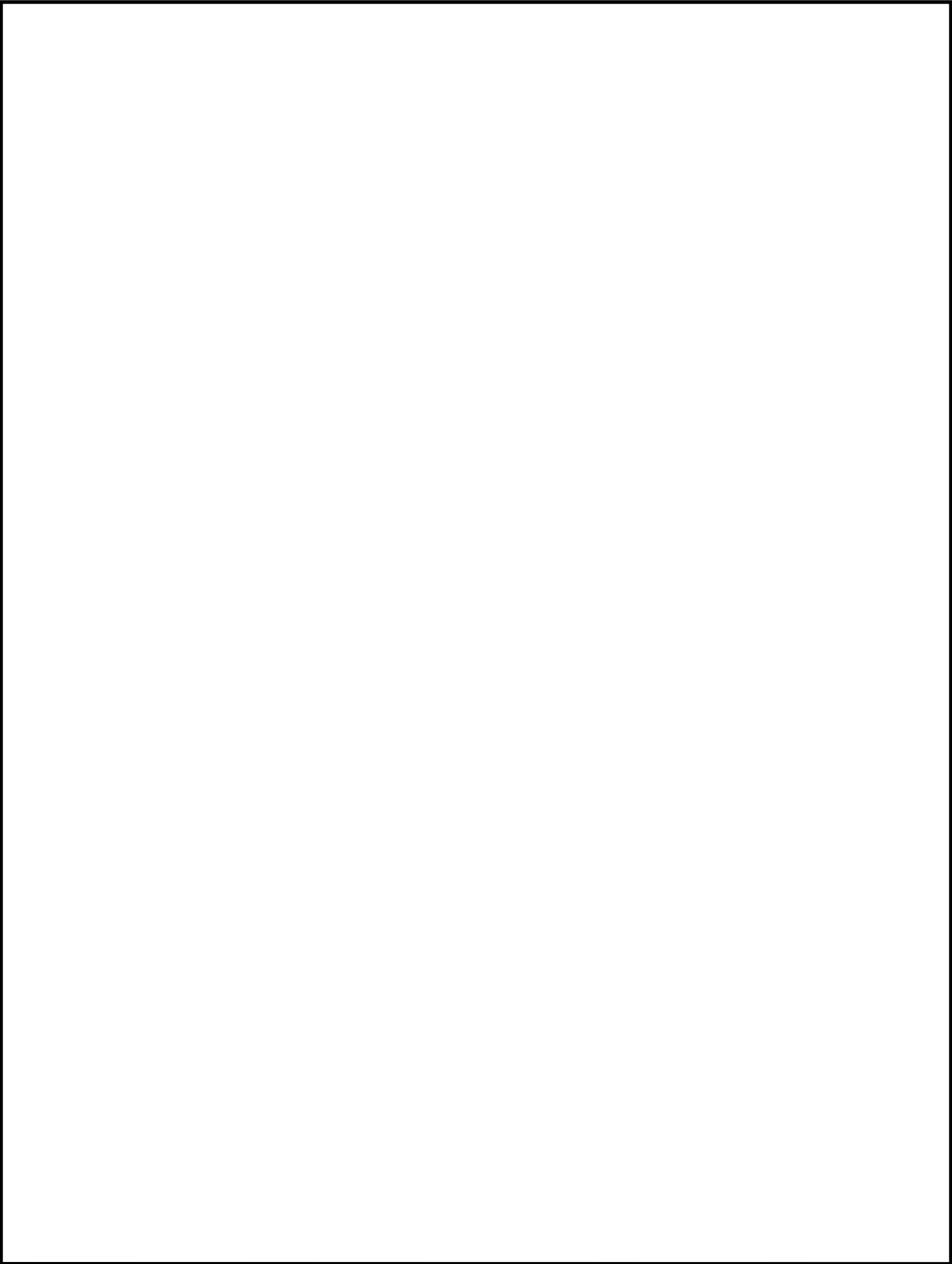
– відстань від форпикової перегородки до носового перпендикуляра повинна бути не менш

$$L_{фор} = 0,05 \cdot L = 0,05 \cdot 139,8 = 6,99 \text{ м;}$$

– відстань від кормового перпендикуляра до ахтерпикової перегородки знаходимо за прототипом:

$$L_{axm} = 0,04 \cdot L = 5,592 \text{ м;}$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.02								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розробка теоретичного креслення					Літ.	Арк.	Акрушів	
Студент	Мороз												
Консульт.	Кузнецов												
Керівник	Кузнецов									ХННІ НУК			
Зав. кафедр.	Щедролосєв												

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО КРЕСЛЕННЯ

2.1 Розрахунок теоретичного креслення

2.1.1 Розрахунок ординат теоретичного креслення

В основі проектування теоретичного креслення лежить інтерполяційний метод. Сутність нього методу полягає в тому, що ординати теоретичного креслення визначаються інтерполяцією між двома прототипами з різними коефіцієнтами загальної повноти за програмою Dialog-Statik. В банк даних цієї програми закладені ординати судів з декількома значеннями коефіцієнтів загальної повноти. Результати розрахунків виводяться до друку у вигляді таблиці, яка містить ординати для 21-го теоретичного (табл. 2.1)

За одержаними значеннями ординат (табл. 2.1) будується теоретичне креслення.

2.1.2 Побудова обводів форштевня та ахтерштевня

Обраємо носову кінцевість з бульбом. Кут нахилу надводної частини форштевня до носового перпендикуляра $\alpha = 50^\circ$.

Характеристиками носового бульба є:

– відстань від носового перпендикуляра судна до передньої точки бульба розраховується за формулою:

$$L_{\text{нб}} = L_{\text{пп}} \cdot l_{\text{нб}},$$

$l_{\text{нб}}$ – відносна довжина бульба:

$$l_{\text{нб}} = 0,051 - 0,115 \cdot Fr \pm 0,006$$

де $Fr = 0,229$

$$l_{\text{нб}} = 0,051 - 0,115 \cdot 0,191 \pm 0,006 = 0,035 \text{ м},$$

$$L_{\text{нб}} = 139,8 \cdot 0,035 = 4,89 \text{ м};$$

– найбільша ширина бульба:

$$B_{\text{нб}} = B \cdot v_{\text{нб}},$$

де: $v_{\text{нб}} = 0,145 \pm 0,025$; приймаємо $v_{\text{нб}} = 0,17$, тоді:

$$B_{\text{нб}} = 19,10 \cdot 0,17 = 3,25 \text{ м};$$

– найбільша висота шпангоута найбільшої площі бульба:

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{\text{нб}} = 0,93 \cdot d = 0,93 \cdot 6,20 = 5,77 \text{ м};$$

- висота передньої точки бульба від основної площини:

$$H_{\text{нбп}} = h_{\text{нб}} \cdot d;$$

де: $h_{\text{нб}} = 0,6$ тоді:

$$H_{\text{нбп}} = 0,6 \cdot 5,77 = 3,46 \text{ м};$$

- кут підйому нижньої кромки бульба над ОП, виміряний в районі носового перпендикуляра:

$$\psi_{\text{нб}} = 34 - 105 \cdot Fr;$$

$$\psi_{\text{нб}} = 34 - 105 \cdot 0,191 = 14 \text{ град.}$$

Корма судна, що проектується, транцева згідно ОСТ 5.1082-76.

2.2 Розрахунок мінімального літнього надводного борту

Розрахунок мінімальної висоти надводного борту виконується за Правилами про вантажну марку морських суден.

Згідно Правил прийняті наступні позначення:

$D_p = 8,15 \text{ м}$ – висота борту;

$B_p = 19,10 \text{ м}$ – ширина судна;

$d_p = 0,85D = 0,85 \cdot 8,15 = 6,93 \text{ м}$ – розрахункова осадка;

Розрахункову довжину визначено, як:

$$L_p = \max \begin{cases} L_{p_1}; \\ L_{p_2} \end{cases};$$

де: $L_{p_1} = L + \Delta l_n$;

$$L_{p_2} = 0,96(L + \Delta l_n + \Delta l_k);$$

$\Delta l_n = 1,98 \text{ м}$ – приріст довжини судна в носовому краю за рахунок збільшення осадки;

$\Delta l_k = 5,2 \text{ м}$ – приріст довжини судна в кормовому краю за рахунок збільшення осадки;

$$L_{p_1} = 139,8 + 1,98 = 141,8 \text{ м};$$

$$L_{p_2} = 0,96(141,8 + 1,98 + 5,2) = 143,02 \text{ м};$$

$$L_p = \max \begin{cases} 142,8 \\ 143,02 \end{cases} = 143,02 \text{ м.}$$

					ДРБ.135.4111зш.02.П3.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт загальної повноти розраховано, як:

$$C_{Bp} = \frac{V_p}{L_p \cdot B_p \cdot d_p},$$

де V_p – об’ємна водотоннажність без урахування виступаючих частин при розрахунковій осадці d_p , м³, яка визначається за формулою:

$$V_p = V_{BVL} \cdot \left(\frac{d_p}{d} \right)^{C_w/C_B}$$

де: V_{BVL} – об’ємна водотоннажність до ВВЛ, м³;

$$V_{BVL} = \frac{\Delta}{K \cdot \gamma}$$

$$V_{BVL} = \frac{13240}{1,01 \cdot 1,025} = 13513$$

Тоді:

$$V_p = 13513 \left(\frac{7,74}{6,20} \right)^{0,856/0,786} = 17209 \text{ м}^3.$$

$$C_{Bp} = \frac{17209}{141,8 \cdot 20,06 \cdot 7,74} = 0,781$$

Мінімальний надводний борт знаходиться за формулою:

$$F_{\min} = (F_0) \cdot X_g + \Delta_1 - \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4, \text{ мм.}$$

де: F_0 - базисний надводний борт для розрахункової довжини;

визначається за таблицею 4.1.3.2 []:

$$F_0 = 2130 \text{ мм};$$

$$X_g = \frac{C_{Bp} + 0,68}{1,36} = \frac{0,781 + 0,68}{1,36} = 1,07$$

Δ_1 – поправка на висоту борта, мм

$$\Delta_1 = \left(D - \frac{L_p}{15} \right) R,$$

$R = 250$ м, при довжині судна 120 та більше;

$$\Delta_1 = \left(9,10 - \frac{141,8}{15} \right) 250 = 88 \text{ мм.}$$

$\Delta_2 = 0$ – поправка на положення палубної лінії;

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Δ_2 – відрахування на надбудови і ящики; вводиться для суден різного типу; $\Delta_2 = 1070$ мм для суден довжиною 120 м і більше;

Якщо судно має розрахункову довжину надбудов і ящиків менше ніж $1,0L_p$, тоді відрахування Δ_2 помножується на коефіцієнт K_H ;

$$K_H = f(E/L_p);$$

Приймаємо $K_H = 0,196$, тоді:

$$\Delta_2 = 1070 \cdot 0,196 = 210 \text{ мм}$$

Δ_3 – поправка, враховуюча відхилення від стандартного профілю сідлуватості; ординати стандартного профілю стандартної сідлуватості та коефіцієнтів f_i , розраховується в табл. 2.1

Таблиця 2.1 Розрахунок профілю стандартної сідлуватості.

Положення ординати		Ордината Z_i , мм	f	$Z_i \cdot f$
Кормова половина	Кормовий перпендикуляр	$25(L_p/3+10)=1425$	1	1425
	1/6 L від КП	$11,1(L_p/3+10)=633$	3	1899
	1/3 L від КП	$2,8(L_p/3+10)=159,6$	3	479
	Середина довжини судна	0	1	0
Носова половина	Середина довжини судна	0	1	0
	1/3 L від НП	$5,6(L_p/3+10)=319$	3	957
	1/6 L від НП	$22,2(L_p/3+10)=1265$	3	3796
	Носовий перпендикуляр	$50(L_p/3+10)=2850$	1	2850

Судно що проектується, не має сідлуватості. Таким чином профіль сідлуватості відрізняється від стандартного, у зв'язку з чим визначається недолік сідлуватості для носової і кормової половини судна за формулами:

– недолік сідлуватості в носу:

$$\Delta C_K = \frac{\sum Z_{icm}^K \cdot f_i}{8} = \frac{(1425 + 1899 + 479)}{8} = 475$$

– недолік сідлуватості в кормі:

$$\Delta C_H = \frac{\sum Z_{icm}^K \cdot f_i}{8} = \frac{(957 + 3796 + 2850)}{8} = 950$$

– недолік сідлуватості по судну взагалі:

					ДРБ.135.411 зш.02.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta C = \frac{\Delta C_H + \Delta C_K}{2}, \text{ мм}$$

$$\Delta C = \frac{475 + 950}{2} = 712 \text{ мм}$$

Поправка Δ_3 визначається за формулою:

$$\Delta_3 = \Delta C \left(0,75 - \frac{S}{2 \cdot L} \right),$$

де: $S = 32,00$ м – сумарна довжина закритих надбудов;

$$\Delta_3 = 712 \left(0,75 - \frac{32,00}{2 \cdot 139,8} \right) = 534 \text{ мм}$$

Δ_4 – поправка на положення палубної лінії, мм; $\Delta_4 = 0$ мм.

Таким чином мінімальний надводний борт буде дорівнювати:

$$F_{min} = 2130 \cdot 0,99 + 288 - 210 + 534 = 2721 \text{ мм.}$$

Максимально допустима осадка визначається за формулою:

$$d_{max} = D_p - F_{min}, \text{ м}$$

$$d_{max} = 8,15 - 2,72 = 5,43 \text{ м}$$

Таким чином $d_{max} \geq d_{ВВЛ}$, значить судно, що проектується, задовольняє вимогам Правил Регістру про мінімальний надводний борт морських суден.

Висота надводного борту в носу визначається як відстань по вертикалі на носовому перпендикулярі між ватерлінією, яка відповідає призначеному літньому надводному борту і верхній кромці відкритої палуби у борта, і повинна бути не менше визначеної за формулою:

$$F_{min \text{ н}} = \left(6075 \left(\frac{L}{100} \right) - 1875 \left(\frac{L}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{L}{100} \right)^3 \right) \left(2,08 + 0,609 C_B - 1,603 C_W - 0,0129 \frac{L}{d} \right) \text{ мм.}$$

$$F_{min \text{ н}} = \left(6075 \left(\frac{141,8}{100} \right) - 1875 \left(\frac{141,8}{100} \right)^2 + 200 \left(\frac{141,8}{100} \right)^3 \right) \left(2,08 + 0,609 \cdot 0,768 - 1,603 \cdot 0,856 - 0,0129 \frac{141,8}{6,20} \right) = 4713 \text{ мм.}$$

Фактична висота борта, на носовому перпендикулярі від ГВЛ до верхньої палуби :

$$H_\phi = D - d$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{\phi} = 8,15 - 6,20 = 1,95 \text{ м}$$

Необхідна висота в носу досягається за рахунок бака. Бак повинен бути продовжений в корму від НП не менше $0,07L$

$$l_{\phi} \geq 0,07L$$

$$l_{\phi} \geq 0,07 \cdot 139,8 = 9,78$$

Висота бака $h_{\phi} = 2,5 \text{ м}$

$$H_{\phi} = D - d + h_{\phi}$$

$$H_{\phi} = 8,15 - 6,20 + 2,5 = 4,45 \text{ м}$$

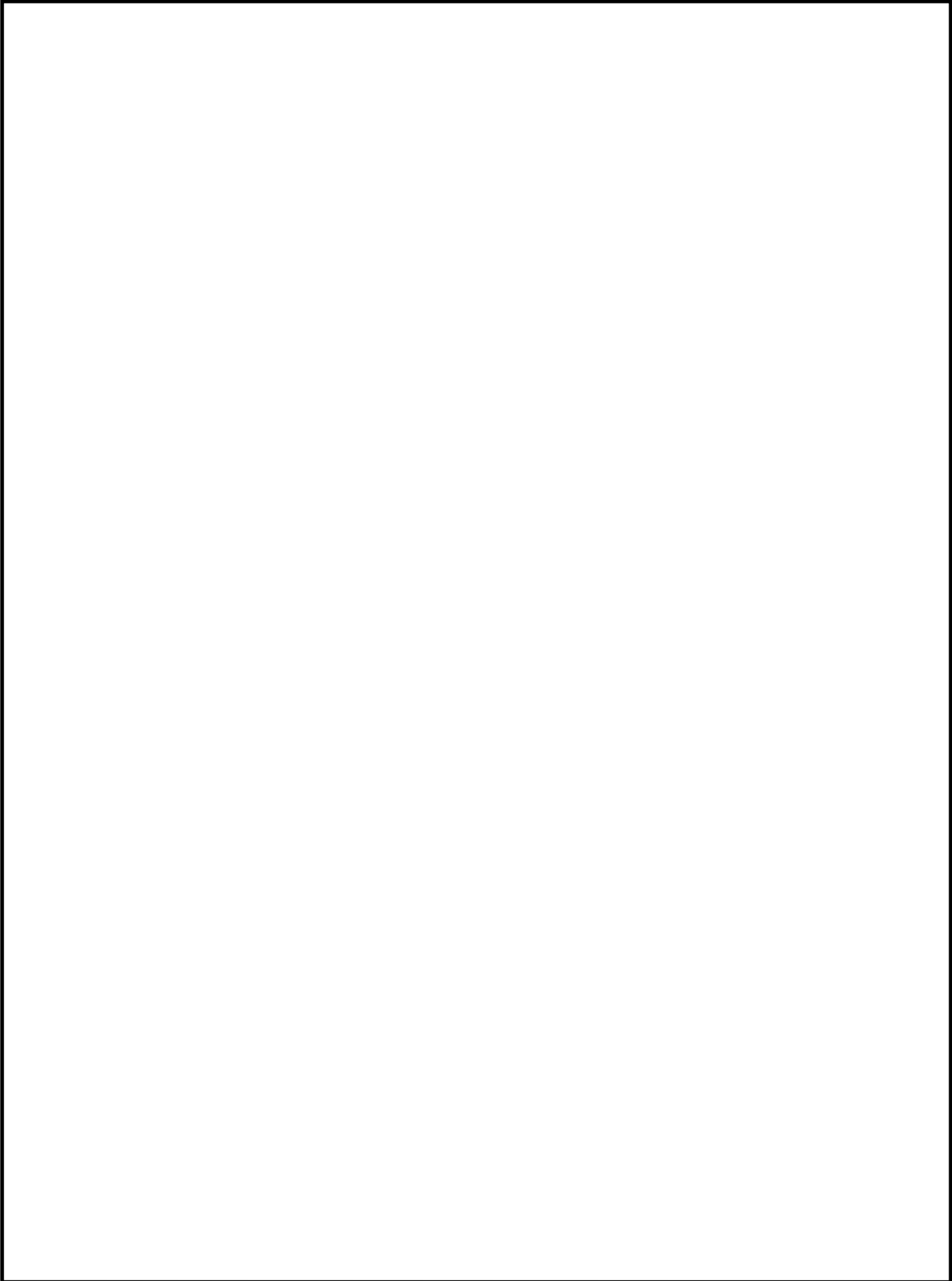
Максимально дозволена осадка судна

$$d_{max} = D - F_{min}$$

$$d_{max} = 8,15 - 4,45 = 3,70 \text{ м}$$

За отриманими результатами будуємо теоретичне креслення.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					ДРБ.135.4111 зш.02.ПЗ.03						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Мороз			Проектування конструктивного мідель-шпангоута			Літ.		Арк.	Акрушів
Консульт.		Кузнецов									
Керівник		Кузнецов						ХННІ НУК			
Зав. кафед.		Щедролосєв									

3 ПРОЄКТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО МІДЕЛЬ-ШПАНГОУТА

3.1 Загальні відомості про судно, що проєктується

3.1.1 Опис архітектурно-конструктивного типу судна

Судно призначене для перевезення генеральних вантажів, зерна і інших укрупнених уніфікованих вантажів, з кормовим розташуванням машинного відділення, коротким баком, носовою кінцевістю з бульбом, транцевою кормою. Судно має надлишковий надводний борт, однопалубне, з подвійним дном і подвійними бортами. Палубні перекриття, подвійні борти і подвійне дно мають повздовжню систему набору.

Набір корпусу судна виконуємо за Правилами Регістру судноплавства України.

3.1.2 Вибір шпациї

Нормальна шпация в середній частині судна визначається за формулою:

$$a_0 = 0,002 \cdot L + 0,48, \text{ м}$$

де $L = 139,8$ м – довжина судна між перпендикулярами,

$$a_0 = 0,002 \cdot 139,8 + 0,48 = 0,756 \text{ м}$$

Правилами [] дозволяється відхилення взятої шпациї від нормальної в межах 25%. Розраховану величину округлюємо до значення стандартної шпациї і приймаємо

$$a_0 = 0,750 \text{ м.}$$

Ширина горизонтального кіля визначається за формулою:

$$b_k = 800 + 5L \leq 2000 \text{ мм;}$$

$$b_k = 800 + 5 \cdot 139,8 = 1499 \text{ мм;}$$

приймаємо $b_k = 1800$ мм;

Ширину ширстрека приймаємо 1800 мм;

Ширина палубного стрингера визначається за формулою:

$$b_c = 800 + 5L \leq 1800 \text{ мм;}$$

Приймаємо ширину палубного стрингера $b_c = 1400$ мм

Висота вертикального кіля (подвійного дна) повинна бути не менш

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_{BK} = \frac{L - 40}{570} + 0,04 \cdot B + 3,5 \cdot \frac{d}{L} \text{ м}; \quad (9.1)$$

$$h_{BK} = \frac{139,8-40}{570} + 0,04 \cdot 19,10 + 3,5 \cdot \frac{6,20}{139,8} = 1,0 \text{ м},$$

приймаємо $h_{BK} = 1,0 \text{ м}$;

3.1.3 Вибір марки матеріалу

Для виготовлення корпусу судна за рекомендацією Правил, а також у залежності від рівня відповідальності, умов роботи і з міркувань економічності для конструкцій верхньої палуби, комінгсу люків, ширстреку і верхнього поясу обшивки внутрішнього борту вибираємо суднобудівну сталь підвищеної міцності категорії A36, для інших конструкцій – суднобудівну сталь нормальної міцності категорії A. Характеристики цих сталей приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Механічні властивості суднобудівних сталей

Категорія (марка) сталі	Межа міцності σ_B , МПа	Межа плинності R_{EH} , МПа	Відносне подовження δ , %	Нижня температура, °C	Коефіцієнт використання механічних властивостей, η
A36(10Г2С1)	490-620	355	21	-60	0,72

За розрахункові характеристики матеріалу конструкцій корпусу приймаємо верхню межу плинності і розрахункові нормативні межі плинності за нормальними і дотичними напруженнями, визначаємо за формулами:

$$\sigma_H = \frac{235}{\eta}, \quad \tau_H = 0,57 \cdot \sigma_H, \text{ МПа:}$$

$$\text{для категорії A} \quad \sigma_H = \frac{235}{1} = 235 \text{ МПа}, \quad \tau_H = 0,57 \cdot 235 = 134 \text{ МПа};$$

$$\text{для категорії A36} \quad \sigma_H = \frac{235}{0,72} = 326 \text{ МПа}, \quad \tau_H = 0,57 \cdot 326 = 186 \text{ МПа}.$$

3.2 Основні положення по визначенню розмірів в'язів

3.2.1 Вимоги до розмірів елементів конструкцій корпусу

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент опору, см^3 , площі поперечного перерізу, за вимогами Правил Регістру [] для складених балок, визначається за формулою:

$$W = W' + \Delta W, \quad (9.2)$$

$$W' = \frac{Q \cdot l \cdot 10^3}{m \cdot k_\sigma \cdot \sigma_H},$$

де W – момент опору балки без урахування запасу на знос і корозію, см^3 ;

$Q = Pal$ – поперечне навантаження на балку, кН;

P – розрахунковий тиск на обшивку (настил), кПа;

a – відстань між балками, м;

l – прогін балки, м;

m, k_σ – коефіцієнти згинаючого моменту і допустимих напружень, що визначаються у відповідних розділах Правил Регістру;

ΔW – доповнення частини моменту опору на знос та корозію, см^3 ;

σ_H – нормативна межа плинності за нормальними напруженнями, МПа

Момент опору площі поперечного перерізу балки штабового профілю з ребром жорсткості, що враховується як вільний поясok при призначених значеннях висоти і товщини стінки балки і ребра жорсткості визначається за формулою:

$$W = h \left[F_1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F} \right) \right], \text{см}^3, \quad (9.3)$$

де h – відстань ребра жорсткості від основи балки, см;

$F = h_c S_c$ – площа перетину стінки балки, см^2 ;

$F = b_{III} S_{III}$ – площа приєднаного пояску, см^2 ;

b_{III}, S_{III} – товщина й ширина приєднаного пояску відповідно, см;

$b_{III} = l/6$ – для балок основного набору, $b_{III} = kc$ – для балок рамного набору,

де k визначається за табл. 1.6.3.4[], c – відстань між балками, м;

$F_1 = b_{PЖ} S_{PЖ}$ – площа перетину ребра жорсткості, см^2 .

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Момент інерції площі поперечного перерізу балки штабового профілю з ребром жорсткості визначається за формулою:

$$i = \frac{h_c^2}{1 + \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F}} \cdot \left[F_1 + \frac{F}{6} \left(2 - \frac{2F_1 + F}{2F_2 + F} \right) \right], \text{ см}^4$$

Товщина обшивки або настилу визначається за формулою:

$$S = m \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \sigma_H}} + \Delta S \text{ мм},$$

де m, k_σ – коефіцієнти згинаючого моменту і допустимих напружень, що визначаються у відповідних розділах Правил Регістру;

a – відстань (шпація) між розглядуваними балками, м;

P – розрахунковий тиск на обшивку (настил), кПа;

$k = 1,2 - 0,5 (a/b) \leq 1$;

a, b – менший і більший розміри сторін опорного контуру листового елемента, м;

σ_H – нормативна межа плинності за нормальними напруженнями, МПа (див. п. 9.1.3.)

ΔS – запас на знос і корозію, мм;

3.2.2 Мінімальні товщини елементів корпусу

Будівельні товщини елементів корпусу, що визначаються з умови міцності і стійкості, у всіх випадках повинні бути не менш наступних мінімальних значень:

- для зовнішньої обшивки днища і бортів:

$$S_{\min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \sqrt{\eta} = (5,5 + 0,04 \cdot 128,2) \sqrt{1} = 10,6 \text{ мм};$$

- для горизонтального кіля:

$$S_{\min} = (5,5 + 0,04 \cdot L) \sqrt{\eta} + 2 = (5,5 + 0,04 \cdot 128,2) \sqrt{1} + 2 = 12,6 \text{ мм};$$

- для настилу верхньої палуби:

$$S_{\min} = (7 + 0,02 \cdot L) \sqrt{\eta} = (7 + 0,02 \cdot 128,2) \sqrt{1} = 9,5 \text{ мм};$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для настилу другого дна:

$$S_{\min} = (5 + 0,035 \cdot L) \sqrt{\eta} + 2 = (5 + 0,035 \cdot 128,2) \sqrt{1} + 2 = 7,9 \text{ мм};$$

- для вертикального кіля:

$$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 7 = 0,025 \cdot 128,2 + 7 = 10,2 \text{ мм};$$

- для суцільних флорів і днищових стрингерів:

$$S_{\min} = 0,035 \cdot L + 6 = 0,035 \cdot 128,2 + 6 = 10,4 \text{ мм};$$

- для елементів конструкції усередині другого дна (включаючи балки основного набору, ребра жорсткості, книці і т.п.):

$$S_{\min} = 0,025 \cdot L + 5,5 = 0,025 \cdot 128,2 + 5,5 = 8,7 \text{ мм};$$

- для діафрагм і платформ подвійних бортів:

$$S_{\min} = 0,018 \cdot L + 6,2 = 0,018 \cdot 128,2 + 6,2 = 8,5 \text{ мм};$$

- для елементів конструкцій бортового набору в цистернах для прийому водяного баласту й обшивки внутрішнього борту:

$$S_{\min} = 0,02 \cdot L + 6,7 = 0,02 \cdot 128,2 + 6,7 = 9,2 \text{ мм}.$$

Мінімальна товщина будь-яких в'язів корпусу повинна бути не менш 4 мм.

3.2.3 Урахування зносу і корозії в'язів корпусу

Урахування впливу зносу й корозії на розміри в'язів корпусу заснований на нормуванні міцності до середини терміну експлуатації конструкції. Необхідна за Правилами Регістру товщина для листових конструкцій визначається за формулою:

$$S = S' + \Delta S; \quad \Delta S = u(T - 12),$$

S' – товщина листа, мм, що відповідає середині терміну служби судна;

ΔS – запас на знос і корозію, мм;

u – середньорічне зменшення товщини в'язі, мм/рік, унаслідок корозійного зносу або стирання;

T – планований термін служби конструкції, роки;

приймаємо $T = 24$ роки.

					ДРБ.135.4111 зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення u відповідно до Правил Регістру і розрахункове значення ΔS приведені в табл. 4.2.

Таблиця 3.2 Урахування зносу й корозії листових конструкцій

Номер пункту Правил	Елементи конструкції корпусу	u , мм/рік	ΔS , мм
1.1	Настил верхньої палуби	0,1	1,2
2.3.1.2	Бортова обшивка в районі надводного борту	0,21	2,52
2.3.2.2	Бортова обшивка в районі змінних ватерліній	0,21	2,52
2.3.3.2	Бортова обшивка нижче району змінних ватерліній	0,18	2,16
3.2.3	Днищова обшивка	0,2	2,4
4.1.2	Настил другого дна у вантажному трюмі	0,15	1,8
4.2.2	Міждонний лист	0,2	2,4
5.5.3	Обшивка внутрішнього борту	0,16	1,92
6.1.6	Повздовжні палубні балки	0,18	2,16
6.2.6	Рамні бімси палуб та платформ	0,21	2,52
6.3	Комінгс вантажних люків	0,1	1,2
9.1.6	Повздовжні балки, рамні шпангоути та стрингери бортів	0,21	2,52
8.2.3	Вертикальний кіль, днищові стрингера, флори та повздовжні балки днища та другого дна	0,2	2,4

Для складених зварних балок: ΔW – доповнення моменту опору, см^3 , розраховане збільшенням товщини елементів профілю на величину :

$$\Delta W = 0,1h_c\Delta S \left[b + \frac{h_c}{6} \left(2 - \frac{2b + h_c}{2b_{III} + h_c} \right) \right], \quad (9.6)$$

де h_c – висота стінки балки, см;

ΔS – запас на знос і корозію, мм (див. табл. 9.2);

b, b_{III} – ширина вільного і приєднаного поясків балки, см.

3.2.4 Стійкість елементів конструкції корпусу

Стійкість конструкції вважається забезпеченою, якщо виконується умова:

$$k\sigma_c \leq \sigma_{cr}; \tau_c \leq \tau_{cr},$$

де σ_c, τ_c – нормальні стискаючі та дотичні напруження, МПа; k – коефіцієнт запасу за умовою стійкості; σ_{cr}, τ_{cr} – критичні напруження, МПа.

Ейлерові напруження для повздовжніх балок основного набору визначаються за формулою:

$$\sigma_e = (206 \cdot i) / (f \cdot l^2), \text{ МПа}$$

де i – момент інерції балки з приєднаним пояском, см⁴, розрахований за формулою (9.4) при $F_1 = 0$ для товщини, зменшеної на величину ΔS (див. табл. 1.6.5.5-2, []); $f = F + F_2$, см² – площа поперечного перерізу балки з приєднаним пояском розрахована для товщини, зменшеної на величину ΔS ; l – прогін балки, м.

3.3 Розрахункові навантаження

3.3.1 Зовнішні навантаження на корпус судна

Розрахункові навантаження на корпус судна зі сторони моря визначаються статичним P_{st} та хвильовим P_w тиском води. Статичний тиск для точок, розміщених нижче вантажної ватерлінії (ВВЛ), визначається за формулою:

$$P_{st} = 10z_i, \text{ кПа},$$

де z_i – відстань точки прикладання навантажень від вантажної ватерлінії, м.

Розрахунковий тиск для точок прикладання навантажень нижче ВВЛ:

$$P = P_w + P_{st}, \text{ кПа};$$

Хвильовий тиск:

для точок прикладання навантажень нижче ВВЛ:

$$P_w = P_{w0} - 1,5C_w z_i / d, \text{ кПа} \quad \text{для точок прикладання навантажень вище ВВЛ:}$$

$$P_w = P_{w0} - 9,5a_x z_i, \text{ кПа}$$

де $d = 5,16$ м – осадка судна по ВВЛ;

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

P_{w0} – хвильовий напір на рівні ВВЛ, кПа, що визначається за формулою:

$$P_{w0} = 5C_w a_v a_x,$$

C_w – хвильовий коефіцієнт, що визначається за формулою:

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

$$\text{для } L = 128,2 \text{ м} \quad C_w = 10,75 - \left(\frac{300 - 128,2}{100} \right)^{3/2} = 9,0;$$

$$a_v = 0,8V_0(L/10^3 + 0,4)/\sqrt{L} + 1,5; \quad a_x = k_x(1 - 2x_1/L) \geq 0,269,$$

$V_0=12$ вуз – специфікаційна швидкість судна;

$k_x=0,8$ – для поперечного перерізу в ніс від міделя;

x_1 – відстань розглянутого поперечного перерізу від найближчого (носового чи кормового) перпендикуляра, м;

приймаємо $x_1 = L/2 = 64,1$ м. Отже

$$a_v = 0,8 \cdot 12 \cdot (128,2/10^3 + 0,4)/\sqrt{128,2} + 1,5 = 1,94;$$

$$a_x = 0,8 \cdot (1 - 2 \cdot 64,1/128,2) = 0;$$

приймаємо $a_x = 0,269$;

$$a_v \cdot a_x = 1,94 \cdot 0,269 = 0,518,$$

приймаємо $a_v \cdot a_x = 0,52$;

$$P_{w0} = 5 \cdot 9 \cdot 0,52 = 23,4 \text{ кПа.}$$

Тиск P_w вище ВВЛ повинний бути не менш P_{min} , кПа, що визначається за формулою:

$$P_{min} = 0,03L + 5 = 0,03 \cdot 128,2 + 5 = 8,8 \text{ кПа.}$$

3.3.2 Навантаження від перевозимого вантажу і баласту

Максимально припустимий тиск від вантажу, що діє на конструкції трюму у вертикальній площині, приймається такий же як і у прототипу:

$$P_{rz} = 98,5 \text{ кПа.}$$

Розрахунковий тиск від вантажу, що діє на конструкції трюму в горизонтально-поперечному напрямку, визначається за формулою:

					ДРБ.135.4111 зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{ry} = (F_1 + F_2 + F_3 + F_4)/h_k,$$

де $F_1 = F_3 = 225$ кПа, $F_2 = F_4 = 225$ кН – навантаження від контейнерів на одиницю довжини трюму, що розподіляється по його висоті, у місцях кріплення контейнерів один з одним, прийняте за прототипом;

$h_k = 8.1$ м – висота укладання контейнерів;

$$P_{ry} = (225 + 225 + 225 + 225)/8.1 = 111 \text{ кПа.}$$

Розрахунковий тиск від вантажу, що перевозиться на кришках вантажних люків, приймається за прототипом $P = 1$ кПа.

Розрахунковий тиск на конструкції, що обмежують баластні цистерни (у подвійному дні і бортах) визначається за формулою:

$$P_{bl} = \rho_o g z_i + p_k, \text{ кПа}$$

де $\rho_o = 1,025$ т/м³ – щільність водяного баласту;

$g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння;

z_i – відстань розглянутої в'язі від рівня верхньої палуби, вимірювана у діаметральній площині, м;

$p_k = 15$ кПа – тиск запобіжного клапану.

Розрахунковий тиск на конструкції діафрагм визначається за формулою:

$$P = 9,5 z_n, \text{ кПа}$$

де z_n – відстань від точки прикладання навантаження до верхньої палуби, м.

3.3.3 Розрахункові навантаження на елементи конструкції корпусу

3.3.3.1 Зовнішній тиск на обшивку днища і борту визначаємо за формулами (9.9) – (9.13) для шести точок

1) на рівні днища $z_1 = d = 5,16$ м,

2) $P_{st} = 10 \cdot 5,16 = 51,6$ кПа,

$$P_w = 23,4 - 1,5 \cdot 9 \cdot 5,16 / 5,16 = 9,9 \text{ кПа,}$$

$$P_1 = 9,9 + 51,6 = 61,5 \text{ кПа,}$$

3) на рівні другого дна $z_2 = 5,16 - (1,0 + 0,2) = 3,96$ м,

4) $P_{st} = 10 \cdot 3,96 = 39,6$ кПа,

$$P_w = 23,4 - 1,5 \cdot 9 \cdot 3,96 / 5,16 = 13 \text{ кПа,}$$

					ДРБ.135.4111 зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_2 = 13 + 39,6 = 52,6 \text{ кПа},$$

$$3) \text{ на рівні } 0,4D \text{ від ОП } z_3 = 5,16 - 0,4 \cdot 8,1 = 1,92 \text{ м},$$

$$P_{st} = 10 \cdot 1,92 = 19,2 \text{ кПа},$$

$$P_w = 23,4 - 1,5 \cdot 9 \cdot 1,92 / 5,16 = 18,39 \text{ кПа},$$

$$P_3 = 18,39 + 19,2 = 39,59 \text{ кПа},$$

$$4) \text{ на рівні } 0,5D \text{ від ОП } z_4 = 5,16 - 0,5 \cdot 8,1 = 1,11 \text{ м},$$

$$P_{st} = 10 \cdot 1,11 = 11,1 \text{ кПа},$$

$$P_w = 23,4 - 1,5 \cdot 9 \cdot 1,11 / 5,16 = 20,4 \text{ кПа},$$

$$P_4 = 20,4 + 11,1 = 31,5 \text{ кПа},$$

$$5) \text{ на рівні ВВЛ } z_5 = 0, \quad P_{st} = 0,$$

$$P_5 = P_{w0} = 23,4 \text{ кПа},$$

$$6) \text{ на рівні верхньої палуби } z_6 = D - d = 8,1 - 5,16 = 2,94 \text{ м},$$

$$P_w = 23,4 - 9,5 \cdot 0,269 \cdot 2,94 = 19,5 \text{ кПа},$$

$$P_6 = 19,5 \text{ кПа}.$$

3.5 Проектування елементів конструкції корпусу судна за Правилами Регістру

3.5.1 Проектування зовнішньої обшивки корпусу

Товщина зовнішньої обшивки з умови міцності визначається за формулою ,
де $m = 15,8$; k_σ – визначається в залежності від висоти поясу обшивки:

$k_\sigma = 0,6$ – для обшивки дна при подовжній системі набору,

$k_\sigma = 0,6$ – для обшивки борту на рівні $(0,4 \dots 0,5) D$ від основної площини,

$k_\sigma = 0,6$ – для обшивки борту на рівні верхньої палуби;

P – більше зі значень внутрішнього чи зовнішнього розрахункових тисків для
розрахункових точок ,кПа;

$\sigma_n = 235 \text{ МПа}$; для ширстрека $\sigma_n = 326 \text{ МПа}$;

менший розмір пластини (поперечна шпация) приймаємо для днища $a = 0,65 \text{ м}$,
для борту $a = 0,9 \text{ м}$, у районі ширстреку $a = 0,6 \text{ м}$.

$$b = 2a_0 = 1,3 \text{ м}; \Delta S$$

					ДРБ.135.4111 зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахункові стискаючі напруги визначаються за формулою:

$$\sigma_c = \frac{M_T}{I} z_i \cdot 10^5 \text{ МПа},$$

де M_T – розрахунковий згинаючий момент

що викликає перегин судна $M_T = 935 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м}$,

виникаючий прогин судна $M_T = 944 \cdot 10^3 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

Таблиця 3.3 Розрахунок товщини зовнішньої обшивки на міцність

Розрахункові величини та позначення	Обшивка днища	пояс Надскуловий обшивки борта	Обшивка борта в межах 0,4D	Обшивка борта в межах 0,5D	Обшивка борта на рівні ВВЛ	Обшивка борта на рівні верхньої палуби
	Розрахункові точки					
	1	2	3	4	5	6
Менший розмір пластини a , м	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Більший розмір пластини b , м	1,3	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Відношення a/b	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Коефіцієнт $k = 1,2 - 0,5a/b$	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Розрахункове навантаження P , кПа	61,5	52,6	39,59	31,5	23,4	19,5
Коефіцієнт k_σ	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
$S' = 15,8 \cdot a \cdot k \cdot \sqrt{\frac{P}{k_\sigma \cdot \sigma_n}}$, мм	11,9	10,98	9,39	8,92	9,4	2,98
Додаток до товщини ΔS , мм	2,4	2,52	2,52	2,52	2,52	2,52
Товщина пластини $S = S' + \Delta S$, мм	14,1	13,3	11,91	11,24	9,92	5,5

3.5.2 Проектування конструкцій набору подвійного дна

Набір подвійного дна розташований між настилом другого дна і зовнішньою обшивкою. Опорним контуром днищового перекриття є два борти і дві суміжні водонепроникні перегородки.

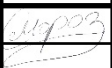
проектується за повздовжньою системою набору. Основний набір перекриття – це повздовжні балки днища і другого дна, розташовані через одну шпацию $a = 0,8$ м. Суцільні флори розташовуються через кожні дві шпациї $a_0 = 1,6$ м, водонепроникні флори – під кожною поперечною перебіркою. У діаметральній площині судна (ДП) розташований вертикальний кіль. Висота суцільного флора дорівнює висоті вертикального кіля $h_{\phi l} = 1,0$ м.

Згідно розрахункам набору корпусу побудовано креслення мідель– шпангоут.

Висновок

За результатами розрахунків елементів корпусу судна - листових конструкцій з урахуванням вимог міцності та стійкості, спроектовано мідель – шпангоут, який задовольняє вимогам Регістру.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунок рульового пристрою	Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Мороз						
Консульт.		Кузнецов						
Керівник		Кузнецов				ХННІ НУК		
Зав. кафедр.		Щедролосєв						

4. РОЗРАХУНОК РУЛЬОВОГО ПРИСТРОЮ

4.1 Визначення геометричних характеристик пера руля

4.1.2 Вибір типу та кількості рулів.

Тип руля – простий не балансирний опертий на п'ятку ахтерштевнем, кількість – 1.

4.1.3 Вибір способу з'єднання пера руля з балером.

Для даного пера руля, оптимальним варіантом є горизонтально-фланцеве з'єднання в комплекті із зігнутим в нижній частині балером. Цей тип з'єднання є надійним в експлуатації, а форма балера дозволяє знімати кермо зі штирями без демонтажу балера []. Виходячи з цих даних обрано горизонтально-фланцеве з'єднання в комплекті з вигнутим в нижній частині балером.

4.1.4 Визначення геометричних характеристик пера руля.

Розрахунок загальної площі пера руля []:

$$A_p = \frac{L \times d}{A}$$
$$A_p = \frac{182,2 \times 9,4}{69,8} = 24,8 \text{ м}^2.$$

де: d – осадка судна, м; A – емпіричний коефіцієнт, що визначається по правилам Норвезького бюро Верітас:

$$A_1 = A_{DNV} = \frac{100}{1 + \frac{25}{(L/B)^2}}$$
$$A_1 = A_{DNV} = \frac{100}{1 + \frac{25}{(182,2/27,2)^2}} = 64,2$$
$$A_2([1]\text{стр. 21}) = 76,9$$
$$A_3([1]\text{стр. 22 табл 3.1}) = 69,1$$
$$A = \max A_i = 69,1.$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1.5 Вибір розмірів не балансирующего руля за рудерпостом.

Руль, що опирається на п'ятку ахтерштевня, при довжині судна >100 м, має значення $h_1=0,2 - 0,6$ []. Прийнято: $h_1=0,5$.

Висота пера руля:

$$h_p = \frac{d - 2h_1}{1.2}$$
$$h_p = \frac{9,4 - 2 \times 0,5}{1,2} = 7 \text{ м.}$$

де: h_p - висота пера руля, h_1 - піднесення нижньої кромки пера руля над основною площиною судна.

Ширина пера руля:

$$b_p = 0,75 \times b_k$$
$$b_p = 0,75 \times 4,43 = 3,32$$

Відносне подовження поворотної частини руля:

$$\lambda_p = h_p / b_p$$
$$\lambda_p = \frac{7}{3.32} = 2,1;$$

Для визначення розмірів пера руля у другому наближенні необхідно знати товщину профілю пера руля, яка визначається за формулою:

$$t = \bar{t} \times b_p$$
$$t = 0,2 \times 3,32 = 0,65 \text{ м,}$$

де $\bar{t}$ - відносна товщина профілю пера руля, прийнято: $\bar{t}=0,2$.

Тоді в другому наближенні, прийнявши $h_2 = t$, отримано []:

Висота пера руля у другому наближенні:

$$h_{p2} = \frac{d - h_1 - t}{1.2}$$
$$h_{p2} = \frac{9,4 - 0,5 - 0,65}{1,2} = 6,9 \text{ м.}$$

Ширина пера руля у другому наближенні:

$$b_{p2} = 6,4 \text{ м.}$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відносне подовження поворотної частини руля у другому наближенні:

$$\lambda_p = h_{p2}/b_{p2}$$

$$\lambda_p = \frac{6,9}{6,4} = 1,08;$$

Товщину профілю пера руля у другому наближенні:

$$t_2 = \bar{t} \times b_{p2}$$

$$t_2 = 0,2 \times 6.4 = 1,3 \text{ м.}$$

4.1.6 Вибір кількості штирів пера руля.

За Правилами Регістру [] для рулів цього кількості штирів повинна бути не менше двох. Обрана кількість: 2

4.1.7 Вибір профілю пера руля.

Для даного судна обрано профіль ЦАГИ. Розрахунок координати профілю пера руля представлено у табличному вигляді (таблиця 4.1)

Таблиця 4.1 – Координати профілю ЦАГИ []

Відстань перерізу від передньої кромки вздовж хорди		Товщина перерізу від максимальної товщини профілю	
У відсотках, %	Абсолютне значення, м	У відсотках %	Абсолютне значення, м
100	6,4	2	0,026
90	5,76	8,9	0,1157
80	5,12	18,4	0,2392
70	4,48	30,2	0,3924
60	3,84	43,6	0,5668
50	3,2	58,8	0,7644
40	2,56	77,4	1,0062
30	1,92	92	1,196
20	2,28	99.6	1,2948

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відстань перерізу від передньої кромки вздовж хорди		Товщина перерізу від максимальної товщини профілю	
У відсотках, %	Абсолютне значення, м	У відсотках %	Абсолютне значення, м
10	0,64	96,5	1,2545
5	0,32	81,9	1,0647
2,5	0,16	62	0,806
1,25	0,08	45,4	0,5902
0	0	0	0
$b_{p2} = 6,4$		$t_2 = 1,3$	

4.1.8 Вибір марок матеріалів для виготовлення деталей рульового пристрою.

Матеріал для обшивки пера руля рекомендується застосувати рівноцінним матеріалу для обшивки кормової краю корпусу судна в районі вантажної ватерлінії - вуглеводневу чи низьколеговану листову суднобудівну сталь.

На льодоколів і судах льодового плавання матеріалом обшивки рулів вибираються добре зварювальну низьколеговану сталь, що має межу текучості не менше 260 МПа, відносне подовження $\delta_s \geq 18\%$ і ударну в'язкість при температурі - 40°C $a_k \geq 3 \cdot 10^5$ Дж/м².

Баллер, штирі і болти рульового пристрою зазвичай виконуються кованими з вуглецевих і низьколегованих сталей з межею міцності 440-460 МПа. Сталеві виливки застосовуються для виготовлення деяких відповідальних деталей пера руля, гелмпортних труб, румпеля, секторів та інших деталей. Матеріалом виправків служить вуглецева сталь з межею міцності 450 – 460 МПа.

4.2 Визначення основних розмірів деталей рульового пристрою

4.2.1 Визначення діаметра голови балера.

Діаметр голови балера повинен бути не менше значення, знайденого за формулою []:

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_0 = k_{10} \sqrt[3]{\frac{M_k}{R_{ен}}}$$

де: k_{10} – коефіцієнт, значення которого приймаються 26,1 і 23,3 для переднього ходу і заднього ходу відповідно.

M_k – умовний розрахунковий крутний момент, кН·м;

$R_{ен}$ – верхня границя плинності матеріала балера, МПа

$$d_0 = 26,1 \sqrt[3]{\frac{2827}{375}} \approx 51 \text{ см}$$

Для заднього ходу:

$$d_0 = 23,1 \sqrt[3]{\frac{2827}{375}} \approx 45 \text{ см}$$

4.2.2 Розрахунок нормальних та дотичних напружень.

Нормальні та дотичні напруження розраховуються за формулами:

$$\sigma = 10,2 \cdot 10^3 \frac{M_u}{d^3} = 10,2 \cdot 10^3 \frac{168}{51^3} = 12,9 \text{ МПа};$$

$$\tau = 5,1 \cdot 10^3 \frac{M_k}{d^3} = 5,1 \cdot 10^3 \frac{2827}{51^3} = 108,7 \text{ МПа};$$

Приведені напруження знаходяться за формулою:

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2}$$

$$\sigma_{пр} = \sqrt{12,9^2 + 3 \cdot 108,7^2} = 185,4 \text{ МПа} < 0,5 \cdot 375(R_{ен})$$

Висновок: міцність балера за обраним діаметром забезпечена.

4.2.3 Визначення товщина обшивки пера руля.

Обшивка повинна бути не менше розрахованої за формулою []:

$$S = a \times k_{11} \times \sqrt{\frac{98d + k_{12}(\frac{F_1}{A_p} + k_{13} \frac{F_2}{A_B})}{R_{ен}}} + 1.5$$

де: F_1, F_2 – розрахункові навантаження;

Відстань між горизонтальними і вертикальними діафрагмами приймається:

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

a - відстань між вертикальними діафрагмами, $a = 0,6\text{м}$;

b - відстань між горизонтальними діафрагмами, $b = 0,6\text{м}$.

$$k_{11} = 10.85 - 2.516 \left(\frac{a}{b}\right)^2, \quad k_{11} = 10.85 - 2.516 \left(\frac{0,6}{0,6}\right)^2 = 8,33.$$

Коефіцієнт $k_{12} = 18,6$ для ділянки обшивки, розташованої в межах $0,35$ довжини пера руля від його передньої крайки, і $k_{12} = 8$ для ділянки обшивки, розташованої в межах $0,65$ довжини пера руля від його задньої крайки.

Коефіцієнт k_{13} для ділянки обшивки в струмені гребного гвинта, поза струменем гвинта $k_{13} = 0$.

Згідно з коефіцієнтами обшивка пера руля ділиться на чотири ділянки:

$$S_1 = 0,6 \times 8,33 \times \sqrt{\frac{98 \times 9,4 + 18,6 \left(\frac{340}{24,8} + 1 \frac{510}{6,4}\right)}{236}} + 1,5 = 17,9\text{мм}$$

Приймаємо $S_1 = 18\text{мм}$;

$$S_2 = 0,6 \times 8,33 \times \sqrt{\frac{98 \times 9,4 + 8 \left(\frac{340}{24,8} + 1 \frac{510}{6,4}\right)}{236}} + 1,5 = 14,8\text{мм}$$

Приймаємо $S_2 = 16\text{мм}$;

$$S_3 = 0,6 \times 8,33 \times \sqrt{\frac{98 \times 9,4 + 18,6 \left(\frac{340}{24,8} + 1 \frac{510}{6,4}\right)}{236}} + 1,5 = 17,9\text{мм}$$

Приймаємо $S_3 = 18\text{мм}$;

$$S_4 = 0,6 \times 8,33 \times \sqrt{\frac{98 \times 9,4 + 8 \left(\frac{340}{24,8} + 1 \frac{510}{6,4}\right)}{236}} + 1,5 = 14,8\text{мм}$$

Приймаємо $S_4 = 16\text{мм}$;

Однак у будь якого разу товщина пера руля, мм, повинна бути не менше визначеної за формулою:

для судів довжиною більше 80м :

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S_{min} = 24 \frac{L + 37}{L + 240}$$

$$S_{min} = 24 \frac{182,2 + 37}{182,2 + 240} = 12,46 \text{ мм.}$$

Приймаємо $S_{min} = 14 \text{ мм.}$

4.2.4 З'єднання балера з пером руля.

При з'єднанні руля з балером горизонтальним фланцем, діаметр з'єднальних болтів d_1 , см, повинен бути не менше визначеного за формулою:

$$d_1 = 0,62 \sqrt{\frac{d_2^3 R_{eH1}}{Z_1 r_2 R_{eH2}}};$$

$$d_1 = 0,62 \sqrt{\frac{66^3 \cdot 375}{6 \cdot 23 \cdot 375}} = 19,6 \text{ см.}$$

$d_2 = 66$ діаметр балера біля з'єднального фланця, см;

$z_1 = 6$ - кількість з'єднальних болтів;

r_2 - середня відстань від центрів болтів до центру системи отворів фланця, см.

Приведений розрахунковий момент:

$$M_{пр} = \sqrt{M_u^2 + 0,75 M_k^2};$$

$$M_{пр} = \sqrt{0^2 + 0,75 \cdot 2827^2} = 2450 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$M_u = 0$ - згинальний момент;

M_k - крутний момент;

$$a_1 = 2r_2 = 2 \cdot 23 = 46 \text{ см}$$

$$a_3 = a_1 \frac{d_1^2 z_1 [\sigma]}{8 M_{пр}};$$

$$a_3 = a_1 \frac{19,6^2 \cdot 6 \cdot 295}{8 \cdot 2450 \cdot 10^4} = 0,14$$

конструктивно прийнято: $a_3 = 0,14$;

$[\sigma]$ - допустиме напруження, для сталі 09Г2С $[\sigma] = 295 \text{ МПа}$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відстань між центрами крайніх отворів:

$$a_2 = a_1 \cdot (1 - a_3) / (3 \cdot a_3 - 1)$$

$$a_2 = 46 \cdot (1 - 0,14) / (3 \cdot 0,14 - 1) = 59 \text{ см}$$

Діаметр отворів у фланця: $d_1 = d_1 + 2 = 196 + 2 = 198 \text{ мм}$;

Ширина фланця: $a_1 = a_1 + 2,3d_1 = 590 + 2,3 \cdot 196 = 1040,8 \text{ мм}$;

Довжина фланця: $a_2 = a_2 + 2,3d_1 = 590 + 2,3 \cdot 196 = 1040,8 \text{ мм}$;

4.3 Розрахунок діаметру штирів

Руль підтримують два штирі.

- нижній штир встановлюється в п'ятці ахтерштевня.

В даному перерізі пера руля діє сила реакції опори $R = 1250 \text{ Н}$.

Діаметр штирів, що не мають облицювання, і штирів з облицюванням, але до її насадки, см, повинен бути не менше визначеного за формулою:

$$d_4 = 18 \sqrt{\frac{R}{R_{\text{ен}}}}, \text{ см};$$

$$d_4 = 18 \sqrt{\frac{1250}{375}} = 32,8 \text{ см}$$

Прийнято: $d_4 = 33 \text{ см}$.

Діаметр штиря з облицюванням:

$$\acute{d}_4 = d_4 + 2t_{\text{обл}}, \text{ см};$$

$$\acute{d}_4 = 33 + 2 \cdot 2,5 = 38 \text{ см};$$

Приймано довжину циліндричної частини штиря $l_{\text{цч}} = 40 \text{ см}$, довжину конічної частини штиря $l_{\text{кч}} = 22,5 \text{ см}$

Найменший діаметр конічної частини:

$$d_{\text{min}} = \frac{10d_4 - l_{\text{кч}}}{10}, \text{ см};$$

$$d_{\text{min}} = \frac{10 \cdot 33 - 22,5}{10} = 31, \text{ см}.$$

Зовнішній діаметр нарізної частини:

$$d_{\text{нч}} = 0,8d_{\text{min}}, \text{ см};$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{\text{нч}} = 0,8 \cdot 31 = 25 \text{ см.}$$

Висота гайки:

$$h_{\text{г}} = 0,6 d_{\text{нч}}, \text{ см;}$$

$$h_{\text{г}} = 0,6 \cdot 25 = 15 \text{ см;}$$

Зовнішній діаметр гайки:

$$d_{\text{г}} = 1,8 d_{\text{нч}}, \text{ см;}$$

$$d_{\text{г}} = 1,8 \cdot 25 = 45 \text{ см.}$$

Оскільки виконується співвідношення:

$$\frac{l_7}{d_4} = \frac{40}{38} = 1,2 > \frac{R_{\text{еН(шт)}}}{R_{\text{еН(пет)}}} = \frac{375}{375} = 1$$

де: l_7 — висота втулки штиря, $l_7 = 40 \text{ см;}$

то допускається мінімальне значення товщини матеріалу петель:

$$t_{\text{пет}} = 0,35 d_4, \text{ см;}$$

$$t_{\text{пет}} = 0,35 \cdot 33 = 11,5 \text{ см.}$$

Перевірка розмірів штиря за питомим тиском:

$$P = \frac{10R}{d_4 l_7} \text{ см;}$$

$$P = \frac{10 \cdot 1250}{38 \cdot 40} = 8,22 \text{ МПа;}$$

Допустимий питомий опір нержавіючої сталі по бронзі або навпаки (при змащенні маслом) $P = 6,22 \text{ МПа}$. Питомий опір не перевищує допустиме значення.

- верхній штир встановлюється в петлі рудерпоста.

В даному перерізі пера руля діє сила реакції опори $R = 135 \text{ Н}$.

Діаметр штирів, що не мають облицювання, і штирів з облицюванням, але до її насадки, см, повинен бути не менше визначеного за формулою:

$$d_4 = 18 \sqrt{\frac{R}{R_{\text{еН}}}}, \text{ см;}$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_4 = 18 \sqrt{\frac{135}{375}} = 10,8$$

Прийнято: $d_4 = 11$ см.

Діаметр штиря з облицюванням:

$$\acute{d}_4 = d_4 + 2t_{\text{обл}}, \text{ см};$$

$$\acute{d}_4 = 11 + 2 \cdot 2,5 = 16 \text{ см};$$

Приймано довжину циліндричної частини штиря $l_{\text{цч}} = 18$ см, довжину конічної частини штиря $l_{\text{кч}} = 7$ см

Найменший діаметр конічної частини:

$$d_{\text{min}} = \frac{10d_4 - l_{\text{кч}}}{10}, \text{ см};$$

$$d_{\text{min}} = \frac{10 \cdot 11 - 7}{10} = 10 \text{ см}.$$

Зовнішній діаметр нарізної частини:

$$d_{\text{нч}} = 0,8d_{\text{min}}, \text{ см};$$

$$d_{\text{нч}} = 0,8 \cdot 10 = 8 \text{ см}.$$

Висота гайки:

$$h_{\text{г}} = 0,6d_{\text{нч}}, \text{ см};$$

$$h_{\text{г}} = 0,6 \cdot 8 = 4,8 \text{ см};$$

Зовнішній діаметр гайки:

$$d_{\text{г}} = 1,8d_{\text{нч}}, \text{ см};$$

$$d_{\text{г}} = 1,8 \cdot 8 = 14,4 \text{ см}.$$

Оскільки виконується співвідношення:

$$\frac{l_7}{\acute{d}_4} = \frac{18}{16} = 1,125 > \frac{R_{\text{еН(шт)}}}{R_{\text{еН(пет)}}} = \frac{375}{375} = 1$$

де: l_7 — висота втулки штиря, $l_7 = 18$ см;

то допускається мінімальне значення товщини матеріалу петель:

$$t_{\text{пет}} = 0,35d_4, \text{ см};$$

$$t_{\text{пет}} = 0,35 \cdot 11 = 4 \text{ см}.$$

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка розмірів штиря за питомим тиском:

$$P = \frac{10R}{d_4 l_7} \text{ см};$$

$$P = \frac{10 \cdot 135}{16 \cdot 18} = 4,7 \text{ МПа};$$

Допустимий питомий опір нержавіючої сталі по бронзі або навпаки (при змащенні маслом) $P = 4,7$ МПа. Питомий опір не перевищує допустиме значення.

4.4 Суднові упори

Рульовий пристрій має мати систему обмежень повороту руля (суднові упори), які слід розрахувати на зусилля, які відповідають граничному зворотньому моменту, від руля, не менше:

$$M_{\text{пр}} = 1.135 R_{\text{ен}} d^3 \cdot 10^{-3}, \text{ кНм};$$

$$M_{\text{пр}} = 1.135 \cdot 375 \cdot 66^3 \cdot 10^{-3} = 12,2 \text{ кНм};$$

де: d – дійсний діаметр голови балера, см.

дійсний діаметр голови балера, см.

$$P_{\text{см}} = \frac{M_{\text{пр}}}{R}, \text{ кН}; \quad P_{\text{см}} = \frac{12,2}{0,36} = 33,8 \text{ кН}.$$

R – відстань від вісі балера до площадки зіткнення ахтерштевню і упору в отливці пера руля, м

Напруження стиснення, яке виникає в упорі, МПа,

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{P_{\text{см}}}{b_{\text{уп}} h_{\text{уп}}}, \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{12200}{4 \cdot 125} = 24,4 \text{ МПа} < [\sigma_{\text{см}}] = 0,9 \cdot 375 = 337,5 \text{ МПа};$$

$b_{\text{уп}} h_{\text{уп}}$ – ширина і висота площадки зіткнення упору з кронштейном, у курсовому проекті слід приймати $b_{\text{уп}} = 4$; $h_{\text{уп}} = 125$.

Так як допустимі напруження не перевищують розрахункові, то міцність забезпечена.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.5 Вибір і розташування рульових приводів і підшипників балера

Основний рульовий привід підбирається за величиною розрахункового моменту M з допомогою альбома рульових електрогідравлічних машин

PV-3060-3. Електрогідравлічні плунжерні рульові машини з номінальним крутним моментом 100 кНм і більше звичайно мають два незалежно діючих агрегата насоса, що забезпечують більш високі вимоги для рульових приводів і здатних за необхідності виконати функції запасних рульових приводів.

Рульова машина встановлюється на фундаменті в румпельному відділенні на висоті, що забезпечує можливість огляду знизу и обслуговування як самої машини, так і підшипника балера (500-900 мм.). Над рульовою машиною повинно бути достатньо місця для монтажу і демонтажу. По бортам потрібно передбачити проходи шириною не менше 800 мм.

Для того, щоб сприйняти масу руля і балера, встановлюємо опорний підшипник. Палуба в місці його установки підкріплена набором. Також прийняті міри проти аксіального зміщення пера руля і балера вгору нет більше, ніж це допустимо конструкцією рульового приводу. В місці проходу балера через верхню частину гелмпортної труби встановлено сальник, що попереджує потрапляння води в корпус судна. Сальник розташований таким чином, щоб був доступний для огляду і обслуговування.

Висновок

В дипломному проєкті було спроектовано рульовий пристрій для транспортного судна (категорія Ісе – 2). Тип руля – небалансирний опертий на пятаку ахтерштевня. Перо руля з'єднується з балером за допомогою горизонтального фланцевого з'єднання. Перекладка руля здійснюється за допомогою електрогідравлічної плунжерної машини PV-3060-3.

Спроекований рульовий пристрій має наступні характеристики:

Висота пера руля – 6,9м.

Ширина пера руля – 6,4м.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Товщина руля – 1,3м.

Площа пера руля –24,8м.

Характеристики рульової машини:

Крутний момент – 3060Нм.

Діаметр балера –660мм.

Рульовий пристрій відповідає вимогам Регістру за конструкцією та міцністю.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ.04	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Спроектоване суховантажне судно є одногвинтовим, однопалубним теплоходом з кормовим розташуванням машинного відділення та надбудови, а також з підрулюючим пристроєм у носовій частині. Форштевень – бульбоподібний, корма – транцева.

У розрахунковій частині проекту була визначена водотоннажність судна та головні розміри: водотоннажність $\Delta = 13240$ т; довжина судна між перпендикулярами $L_{пп} = 139,8$ м; ширина судна $B = 19,10$ м; висота борту $D = 8,15$ м; осадка на міделі $d = 6,20$ м.

За допомогою комп'ютерної програми отримано ординати та розроблено теоретичне креслення корпусу судна.

Був розроблений рульовий пристрій судна.

Взагалі, спроектоване судно повністю відповідає завданню та вимогам Правил Регістра судноплавства України та іншим нормативним документам.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРАСТОННОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден. Т. 2. Київ : Регістр судноплавства України, 2020. 792 с.
2. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден. Т. 3. Київ : Регістр судноплавства України, 2020. 632 с.
3. Регістр судноплавства України. Правила класифікації та побудови морських суден. Т. 4. Київ : Регістр судноплавства України, 2020. 560 с.
4. Регістр судноплавства України. Правила про вантажну марку морських суден. Київ : Регістр судноплавства України, 2020. 81 с.
5. Babicz J. Ship Systems and Machinery : Introduction to Marine Engineering. Gdansk : Baobab Naval Consultancy, 2015. 172 p.
6. Бондаренко О. В., Кротов О. І., Матвєєв Л. Г., Прокудин С. О. Особливості проектування морських транспортних суден: навчальний посібник. Миколаїв : НУК, 2004. Ч. 2. 80 с.
7. Бондаренко О. В., Кротов О. І., Сорокін В. І. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Основи проектування суден». Миколаїв : НУК, 2005. 48 с.
8. Жигуліна С. І., Рашковський О. С., Фаріонов А. М. Технічне нормування праці в суднобудуванні. Методичні вказівки. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 68 с.
9. Зайцев В. В., Еганов А.Е., Коробанов Ю. Н., Толышев Э. В., Зайцев Вал.В. Проектирование общесудовых устройств : Учебное пособие. Николаев : ЧП «Илион», 2004. 305 с.
10. Коростильов Л. І., Щедролоєв О. В. Міцність суднового корпусу і його елементів при побудові, спуску та докуванні : навчальний посібник / за ред. д-ра техн. наук, проф. Л. І. Коростильова. Миколаїв : НУК, 2019. 68 с.
11. Кротов О. І., Голіков В. І., Еганов О. Ю., Бондаренко О. В. Проектування морських транспортних суден: навчальний посібник. Миколаїв : УДМТУ, 2003. 156 с.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Кротов О. І, Ільїн С. Ф., Клева Я. А. Курсове і дипломне проектування транспортних суден: Ч 1. Методика і загальні вимоги. Методичні вказівки. Миколаїв : НУК, 2009. 52 с.

13. Матвеев В. Г., Кузнецов А. І., Мартинець Б. М., Михайлов Б. М., Узлов О.М., Цибенко М.О., Шарун Г. В. Проектування конструктивного мідель-шпангоута суховантажних суден. Методичні вказівки. Миколаїв : УДМТУ, 2002. 74 с.

14. Некрасов В. О., Кротов О. І., Шестопад В. П., Потай І. Ю. Розрахунки статички судна. Частина І. Плавучість та початкова остійність : навчальний посібник. Миколаїв :УДМТУ, 2002. 56 с.

15. Петропавлов Ю. В. Разработка теоретического чертежа судна : методические указания. Херсон : ХФ НУК, 2012. 60 с.

16. Петропавлов Ю. В., Узлов А. Н. Удифференровка морских грузовых судов: методические указания. Николаев : УГМТУ, 2003. 40 с.

17. Петропавлов Ю. В., Коршиков Р. Ю Расчет парусности судна: методические указания. Херсон : ХФ НУК, 2012. 14 с.

18. Пістун І. П., Тубальцев А. М., Тубальцева Н. П. Охорона праці в суднобудуванні : Навчальний посібник. Львів : «Тріада плюс», 2009. 580 с.

19. Технологія виготовлення конструкцій корпусу судна: Підручник /О. С. Рашковський, В. М. Перов, С. М. Сліжевський, Н. В. Цикало; за заг. ред. проф. О.С. Рашковського (Рекомендовано Вченою радою НУК імені адмірала Макарова як підручник, протокол № 10 від 28.10.2016 р.). Миколаїв : НУК, 2017. 304 с.

20. Технологія виготовлення деталей корпусу судна: Навчальний посібник / О.С. Рашковський, С.І. Жигуліна, В.М. Перов, С.М. Сліжевський; Під заг. ред. проф. О.С. Рашковського. Миколаїв : НУК, 2009. 136 с.

21. Технологія корпусобудівних робіт: Підручник / Рашковський О.С., Щедролосєв О.В., Фаріонов А.М., Цикало Н.В., Перов В.М., Сліжевський С.М.; за

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

заг. ред. проф. О.С. Рашковського (Рекомендовано Вченою радою НУК, протокол № 13 від 29.12.2017 р.). Миколаїв : НУК, 2018. 516 с.

22. Яглицький Ю. К. Підготовка виробництва в суднобудуванні з використанням інформаційних технологій: навчальний посібник. Миколаїв : НУК, 2018. 300 с.

					ДРБ.135.4111зш.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		